



Olli Kaarela

ÄLYKKÄÄT ANTURIT JA ETÄVALVONTAJÄRJESTELMÄT KUNNONVALVONNASSA

ÄLYKKÄÄT ANTURIT JA ETÄVALVONTAJÄRJESTELMÄT KUNNONVALVONNASSA

Olli Kaarela
Opinnäytetyö
26.5.2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Kone- ja tuotantotekniikka	Insinöörityo	55	+	2
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Tuotantotalous	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Fortum Power and Heat Oy / Power Solutions / Performance	Olli Kaarela			
Työn nimi				
Älykkäät anturit ja etävalvontajärjestelmät kunnonvalvonnassa				
Avainsanat				
Kunnonvalvonta, älykäs anturi, etävalvonta				

Tässä insinöörityössä selvitettiin älykkäiden antureiden tekniikan nykytaso ja älykkäillä antureilla toteutettujen etävalvontajärjestelmien soveltuvuus kunnonvalvonnan vaatimukseen lämpötilan-, värähtely- ja öljyjen hiukkasmittauksiin. Etävalvonnalle on havaittu tarve, mutta toistaiseksi luotettavia ja taloudellisesti järkeviä menetelmiä ei ole ollut tarjolla.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin kunnonvalvonnan lämpötilamittauksiin, värähtelymittauksiin ja öljyjen hiukkasmittauksiin. Värähtelymittausosiossa kerrotaan valvonta- ja signaalinkäsittelymenetelmistä, joita värähtelymittauksissa hyödynnetään. Tällä haettiin liityntäpintaa antureille asetettaviin teknisiin vaatimuksiin. Lisäksi teoriaosuudessa esitellään lyhyen- ja pitkänkantaman langattomia tiedonsiirtomenetelmiä, joihin etävalvontajärjestelmien langatontiedonsiirto perustuu. Pitkänkantaman menetelmistä on esiteltynä GPRS:n perustuvia menetelmiä ja lyhyenkantaman menetelmistä mm. WirelessHART.

Työn tuloksina saatiin teknologiaselvityksen perusteella potentiaalisia tuotteita ja määritettiin kunnonvalvonnan vaatimukset, joiden perusteella tutkittiin tarkemmin tuotteiden soveltuvuutta. Soveltuvia tuotteita olivat mm. Moventasin CMaS ja Emersonin CSI 9420. Kaikki tuotteet eivät soveltuneet vaatimuksiin riittämättömän suorituskyvyn tai ohjelmiston vuoksi. Työn tulosten pohjalta on hyvä jatkaa etävalvontaan tähtäävien hankkeiden toteutusta.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Fortum Power and Heat Oy, Power Solutions, Performance-yksikölle vuonna 2011. Haluan kiittää työn käynnistänyttä tuotepäällikkö Juha Kauttoa mahdollisuudestani tehdä opinnäytetyö Fortumille. Työn ohjauksesta erityiskiitos kunnonvalvonta-asiantuntija Jari Tenhuselle. Lisäksi haluan kiittää ohjaavana opettajana toiminutta lehtori Tero Hietasta ja kielenohjaajana toiminutta lehtori Tuija Juntusta.

Oulussa 26.5.2011

Olli Kaarela

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

SISÄLTÖ

MERKKIEN SELITYKSET

1 JOHDANTO.....	8
2 ENERGIAMUOTOJEN TARKASTELU.....	9
2.1 Tuulivoima	9
2.2 Vesivoima	10
2.3 Lämpö- ja lauhdevoima.....	11
2.4 Ydinvoima	11
2.5 Kunnonvalvonnan esimerkkikohteet	12
3 MITATTAVAT SUUREET	14
3.1. Lämpötila	14
3.1.1 Koskettavia lämpötilan mittausmenetelmiä	14
3.1.2 Koskemattomia lämpötilan mittausmenetelmiä.....	15
3.2 Värähtely.....	16
3.3 Öljyjen hiukkasmittaukset	20
4 LANGATON TIEDONSIIRTO	24
4.1 Pitkän kantaman langattomat tiedonsiirtotavat	25
4.2 Lyhyen kantaman langattomat tiedonsiirtotavat.....	26
5 TYÖN SUORITUS.....	29
5.1 Perehtyminen nykykäytänteisiin.....	29
5.2 Älykkäät anturit	32
5.2.1 Webrosensor WBS CM301 -kunnonvalvonta-anturi	32
5.2.2 Emerson CSI 9420 -langaton värähtelylähetin	33
5.2.3 Moventas IVS 20	35
5.3 Kunnonvalvonnan hiukkasmittaukset.....	36
5.3.1 Pamas S50 & S50P	36
5.3.2 Hydac CS 1000 & MCS 1000	37

5.4 Kunnonvalvonnan etävalvontajärjestelmät.....	38
5.4.1 MyDatenet-etätiedonkeruujärjestelmä	38
5.4.2 Ibexis MSP -etätiedonkeruujärjestelmä	39
5.4.3 Moventas CMaS	40
6 ANTUREIDEN JA OHJELMISTOJEN VAATIMUKSET	42
7 TYÖN TULOKSET	45
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52
LIITTEET	
Liite 1. Vertailumittaustulokset	
Liite 2. Koelaitteiston mittaustulokset	

MERKKIEN SELITYKSET

a	Kiihtyvyys
C-arvo	Crest Factor, huippukerroin
CHP	Combined Heat and Power, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto
cSt	Öljyn kinemaattinen viskositeetti, senttistoki [mm^2/s]
D-pää	Sähkömoottorin kytkimen puoleinen pää, Drive End
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution, tehostetut siirtonopeudet maailmanlaajuiselle kehitykselle
FFT	Fast Fourier Transform, nopea Fourier-muunnos
GPRS	General Packet Radio Service, pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol, Internet protokolla
IP-luokka	Sähkölaitteiden koteloinnin tiiviysluokka
ISM	Industrial, Scientific and Medical, maailmanlaajuinen radiokaista
Kurtosis	Signaalin piikikkyyttä kuvaava tilastollinen tunnusluku
Modbus	Ohjelmoitavien logiikkojen sarjaliikenneprotokolla
N-pää	Sähkömoottorin vapaapää, Non Drive End
OPC	Open connectivity via open standards, avoin liitettävyys avoimilla standardeilla
PoE	Power over Ethernet, virran syöttö Ethernet-kaapelissa
PSK	Prosessiteollisuuden standardoimiskeskus
RF	Radio Frequency, radiotaajuudet
RMS	Root Mean Square, tehollisarvo
SMS	Short Message Service, matkapuhelinten tekstiviestijärjestelmä
TCP	Transmission Control Protocol, tietoliikenneprotokolla
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
Ω	Ohmi

1 JOHDANTO

Fortum on johtava energiayhtiö Pohjoismaissa ja toimii myös Baltian maissa ja Venäjällä. Fortum tarjoaa kehittyviä ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi, energioresurssien tehokasta hyödyntämistä ja varmistaa energian saatavuuden tulevaisuudessa. Fortumin liiketoiminta-alueita ovat sähkön ja lämmön tuotanto, niiden myynti sekä jakelutoiminta. Lisäksi Fortum tarjoaa voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalveluita. Tulevaisuudessa Fortum tavoittelee kasvumahdollisuuksia voimakkaasti kilpailluilla Euroopan ja Aasian energiamarkkinoilla. (Fortum lyhyesti. 2010.)

Fortum Power Solutions tarjoaa käyttö- ja kunnossapitopalveluita sekä alaan liittyviä asiantuntijapalveluita. Asiakaskunta koostuu sähkön- ja lämmöntuotantolaitosten omistajista ja kehittäjistä. Ydinsaaminen keskittyy lämmöntuotantoon sekä vesi- ja ydinvoimaan. Toiminta-alueena ovat Pohjoismaat, Venäjä, Itämeren alue, Keski-Eurooppa sekä lisäksi valikoiduista kansainvälisistä markkinoista. Käyttö- ja kunnossapitoreferenssit koostuvat Fortumin omien voimalaitosten lisäksi kymmenistä voimalaitoksista 20 maasta. Asiantuntijapalveluiden asiakkaita on satoja ympäri maailmaa. Tavoitteena on auttaa asiakasta saavuttamaan voimalaitoksillaan paras mahdollinen käytettävyys ja energiatehokkuus optimaalisin käyttö- ja kunnossapitokustannuksin. (Voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalvelut. 2010.)

Tämän työn tarkoituksena on selvittää älykkäiden antureiden teknologian nykytaso sekä kartoittaa niiden sovellusmahdollisuuksia Fortumin voimalaitoksilla. Pääasiat, joita selvityksessä tulee painottaa, ovat lämpötilan ja värähtelytasojen mittaaminen sekä öljyjen kunnonvalvonnan hiukkasanalyysit. Työssä perehdytään myös langattomaan tiedonsiirtoon ja sen tuomiin mahdollisuuksiin raakadatan tai jo prosessoitujen mittaustulosten lähettämisessä valvontakeskuksiin. Lisäksi työssä selvitetään älykkäillä antureilla toteutettujen etävalvontajärjestelmien olemassa olevia sovellutuksia.

2 ENERGIAMUOTOJEN TARKASTELU

Tässä työssä selvittävien älykkäiden antureiden ja niillä toteutettujen etävalvontajärjestelmien tekniikan tulee soveltua kaikkiin Fortumin käyttämiin energiantuotantolaitoksiin pyörivien koneiden kunnonvalvontaan. Pyörivien koneiden kunnonvalvonnassa keskitytään pääsääntöisesti laakereiden valvontaan.

2.1 Tuulivoima

Tuulivoima on ilman virtauksen eli tuulen liike-energian muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa, joka on peräisin auringon säteilyenergiasta. Nykyaikaisissa tuulivoimaloissa roottorin lapojen liike-energia muutetaan sähkövirraksi. (Tuulivoima. 2010.)

Jotta tuulivoimala käynnistyy, tuulennopeuden tulee olla vähintään 3 m/s. Voimalamallista riippuen voimala saavuttaa nimellistehonsa tuulen nopeuden ollessa 13 - 14 m/s. Tästä eteenpäin aina 25 m/s saakka voimala tuottaa vakio-tehoa. Parhaita paikkoja tuulivoimaloille ovat merten rannikot, merialueet, aukeat mereen rajoittuvat pellot tai suurten mäkien ja vuorten rinteet ja laet, joissa tuulen keskinopeus on 5,5 - 7,5 m/s. (Tuulivoima. 2010.)

Vuonna 2009 Suomen sähköverkkoon syötettiin 277 GWh tuulivoimalla tuotettua sähköä, joka on noin 0,3 % Suomen sähkönkulutuksesta. Suomen tuulivoimakapasiteetti oli 147 MW vuoden 2009 lopussa. Uutta kapasiteettia rakennettiin 4,6 MW ja 0,2 MW poistettiin käytöstä. Suomen tuulivoimakapasiteetti on tällä hetkellä pieni verrattuna muihin EU-maihin. Euroopan tuulivoimakapasiteetti oli vuoden 2009 lopussa noin 76 000 MW, josta vuoden 2009 aikana asennettua uutta kapasiteettia oli lähes 10 500 MW. (Tuulivoiman tuotantotilastot. 2009.)

Fortumilla on suunnitteilla useita tuulivoimahankkeita Suomessa ja Ruotsissa. Huomattavin hanke on Blaikenin maatuulivoimahanke Pohjois-Ruotsissa, jonne suunnitellaan enintään sadan tuulivoimalan tuulivoimapuistoa, jonka kokonaisteho on noin 250 MW. Vuosituotanto vastaa 150 000 kotitalouden vuotuista sähkön kulutusta. Fortum on hankkeessa mukana 40 %:n osuudella. (Uusiutuvaa ja täysin päästötöntä tuulivoimaa. 2010.)

2.2 Vesivoima

Vesivoima perustuu luonnolliseen kiertokulkuun, jossa vesi haihtuu merestä ja sataa takaisin maahan vetenä tai lumena. Maahan satanut vesi tai sulanut lumi kulkeutuvat vesistöjen kautta jokiin. Vesivoima on uusiutuvaa energiaa. (Fortum ja vesivoima. 2010.)

Vesivoimalaitoksissa energiaa tuotetaan hyödyntämällä kahden eri tasossa olevan vesipinnan korkeuseroa. Vesi virtaa korkealta alas voimalaitoksen pyörivän vesiturbiinin kautta. Turbiini pyörittää generaattoria, joka muuntaa veden energian sähköksi. Mitä suurempi putouskorkeus ja virtaavan veden määrä on, sitä enemmän energiaa saadaan. (Vesivoima. 2010.)

Vuonna 2009 Fortum tuotti 42 % Euroopassa tuottamastaan sähköstä vesivoimalla. Energiamuotona vesivoima on päästötöntä ja uusiutuvaa. Fortum omistaa kokonaan tai osittain 260 vesivoimalaitosta Suomessa ja Ruotsissa. Pääosa sähköntuotannosta tulee Keski-Ruotsin 211 vesivoimalaitoksesta, joista kapasiteetiltaan suurimmat ovat Ljusnan-, Indalsälven- ja Dalälven-jokien voimalaitokset. Loput 49 vesivoimalaitosta löytyvät Suomesta Oulujoen ja Vuoksen vesistöistä. Lisäksi Fortum on osakkaana Kemijoki Oy:ssä. (Fortum ja vesivoima. 2010.)

2.3 Lämpö- ja lauhdevoima

Lauhdevoimalassa sähköenergia tuotetaan polttoainetta polttamalla. Polttoaineena käytetään suurimmaksi osaksi fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiiltä tai öljyä. Lämpövoimalan tavoin polttoprosessia käyttäen vesi keitetään höyryksi, joka pyörittää turbiinia.

Turbiini puolestaan pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Erona lauhdevoimassa yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon on se, että lauhdevoimalaitoksissa turbiinin jälkeen jäljelle jäänyttä lämpöenergiaa ei käytetä hyväksi vaan se lauhdutetaan jäähdytysveden avulla. (Lauhdevoima. 2010.)

Fortum tuottaa lauhdesähköä Suomessa Meri-Porin ja Inkoon hiilivoimalaitoksissa sekä Ruotsissa sijaitsevalla Karlshamnin öljylauhdelaiteksessa. Vuotuinen lauhdevoiman tuotanto vaihtelee markkinatilanteen mukaan. (Lauhdevoima. 2010.)

2.4 Ydinvoima

Fortumin ilmastomyönteisessä energiantuotannossa ydinvoimalla on merkittävä rooli, sillä sähköntuotanto ydinvoimalla ei aiheuta ollenkaan kasvihuonekaasupäästöjä. Esimerkiksi Fortumin omistamalla Loviisan ydinvoimalaitoksen sähköntuotannolla vältetään vuosittain noin 6 miljoonan hiilidioksiditonnin päästöiltä. Ydinvoiman osuus Suomen sähköntuotannosta on noin kolmannes. (Fortum ja ydinvoima. 2010.)

Loviisan ydinvoimalaitoksen lisäksi Fortumilla on Suomessa omistusosuus Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon ydinvoimalaitoksessa Olkiluoto 1:stä, Olkiluoto 2:sta ja rakenteilla olevasta uudesta Olkiluoto 3:sta. Ruotsissa Fortumilla on omistusosuuksia Forsmarkin ja Oskarshamnin ydinvoimalaitoksista. (Fortum ja ydinvoima. 2010.)

Loviisan laitoksyksiköt Loviisa 1 ja Loviisa 2 tuottavat sähköä yhteensä vuosittain Suomen valtakunnan verkkoon noin kahdeksan terawattituntia, joka on lähes kymmenen prosenttia koko maan sähköntuotannosta. Käytettävyydeltään Loviisa kuuluu maailman parhaiden ydinvoimalaitosten joukkoon. (Loviisan ydinvoimalaitos. 2010.)

2.5 Kunnanvalvonnan esimerkkikohteet

Tuulivoima

Tuulivoimassa ennakoivalla kunnanvalvonnalla on erityisen tärkeä rooli, koska laitteet ovat usein vaikeasti luokse päästävissä, mikä korostuu erityisesti merellä sijaitsevilla tuulivoimaloissa. Korjauskustannukset suhteessa tuotantokapasiteettiin kasvavat erittäin suuriksi, jos esimerkiksi vaihteistovaurion takia vaihteisto joudutaan nostamaan alas korjausta varten.

Värähtelymittauksia suoritetaan vaihteen laakerien valvonnassa, hammaspyörien hammaskosketusten valvonnassa sekä generaattorin ja turbiinin laakerien valvonnassa. Öljynlaadun mittauksia tehdään vaihteiston öljyjen valvontaan. Öljyistä voidaan havaita kehittyvät viat paljon aikaisemmin, kun ne näkyvät värähtelymittauksissa. Öljyistä valvotaan yleisen öljyn laadun lisäksi kulumispartikkeleita, öljyn painetta, viskositeettia, öljyn kosteutta vapaan veden ja öljyyn sitoutuneen veden suhteena ja dielektrisyyttä. Öljyn kunnanvalvonnassa dielektrisyydevakioita mittaavan anturin käyttö perustuu vakion muutokseen öljyssä tapahtuvien kemiallisten muutosten tai öljyyn sekoittuneiden vieraiden aineiden takia. Lämpötilamittauksilla pyritään selvittämään lähinnä jäähdytysjärjestelmän toimintaa.

Vesivoima

Vesivoimaloissa värähtelymittauksilla valvotaan vesiturbiinin ja siihen liitetyn generaattorin laakereita, akseliliinjan dynaamista käyttäytymistä ja rakenteissa mahdollisesti tapahtuvia muutoksia, jotka voivat ilmetä esimerkiksi värähtely- ja

lämpötilamuutoksina. Mittauksilla havaitaan myös kavitaation ja painepulsaation olemassaolo tietyillä koneen tehoalueilla. Kriittisimmät apulaitteet, kuten hydraulipumput, joilla säädetään turbiinin roottorien lapakulmaa, voivat myös olla valvonnan piirissä. Lämpötilamittauksia käytetään generaattorin laakereiden ja staattorin valvontaan. Lämpötilamittauksilla seurataan laakerikuormituksia ja jäähdytysjärjestelmän toimintaa.

CHP- ja lauhdevoima

CHP- ja lauhdevoimalaitoksissa on lukuisia pyöriviä koneita, joiden kuntoa valvotaan erilaisin mittauksin. Pääkoneistot eli turbiinit ja generaattorit ovat yleensä kiinteän valvontajärjestelmän piirissä. Edellä mainituissa koneissa akselilinjan käyttäytymisen seuraaminen värähtelymittauksilla mahdollistaa useiden vikatyypin monitoroinnin. Yleisimpiä monitoroitavia asioita ovat laakereissa tapahtuvat muutokset, koneen tasapainotustila, koneen käytös lämpötilan ja tehon muuttuessa sekä rakenteissa tapahtuvat muutokset.

Pääkoneistojen lisäksi lämpövoimalaitoksissa on lukuisia pumppuja ja puhaltimia, joiden kuntoa valvotaan mittauksilla. Näissä koneissa tyypillisesti esiintyviä vikoja ovat vierintälaakeriviat, epätasapaino, rakenteissa tapahtuvat muutokset, välysten kasvaminen ja komponenttien kuluminen. Lisäksi sähkökoneissa tapahtuvien sähköisten ominaisuuksien muuttuminen, kuten roottorisauvaviat ja roottorin epäkeskeisyys havaitaan usein värähtely- ja lämpötilamittauksilla.

Ydinvoima

Ydinvoimaloissa suurin osa valvottavista koneista on samanlaisia pyöriviä koneita kuin lämpö- ja lauhdevoimalaitoksissa, joten valvonta- ja vauriomekanismit ovat samankaltaisia. Ydinvoimalan ja lämpö- ja lauhdevoimalan ero karkeasti yleistettynä on vain lämmönkehitystavassa.

3 MITATTAVAT SUUREET

3.1. Lämpötila

Lämpötilamittauksia käytetään laakereiden kunnonvalvonnassa. Lämpötilamittauksien ongelmana on, etteivät ne havaitse vierintälaakereiden vikoja varhaisessa vaiheessa. Lähes kaikkien vikojen muuttuessa vaurioksi lämmön kehittyminen vikakohteessa on kuitenkin huomattavaa. Näin ollen lämpötila mittauksia on hyvä käyttää monien kohteiden kunnonvalvonnassa muita mittauksia tukevana menetelmänä. (Nohynek – Lumme 2004, 20.)

Infrapunalämpötilamittauksia tehtäessä erilaiset häiriölähteet on tunnettava hyvin. Mittauksia vaikeuttavat erilaiset häiriötekijät, joita ovat esimerkiksi lämpöheijastumat ja emissiivisyyskertoimien asettaminen eri materiaaleille ja väreille. (Nohynek ym. 2004, 21.)

Lämpötilamittausten mittausmenetelmät voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: koskettavat menetelmät, koskemattomat menetelmät ja lämpökamerat. (Miettinen – Leinonen – Riutta – Heinonen – Kokko 2009, 440.)

3.1.1 Koskettavia lämpötilan mittausmenetelmiä

Yleisimpiä käytettyjä lämpötila-antureita koskettavassa lämpötilanmittauksessa ovat metallivastusanturit ja termoparianturit. Metallivastusanturissa lämpötilan muuttuminen muuttaa anturin resistanssia. Yleisimpiä tyyppejä ovat Pt-100- ja Pt-1000-anturit. Pt-merkinnät tulevat standardista DIN 43760. Merkinnät tarkoittavat, että niiden vastuksen arvo 0 °C:ssa on joko 100 Ω tai 1 000 Ω.

Antureilla on jokin vasteaika siihen, kuinka nopeasti ne reagoivat lämpötilanmuutokseen. Vasteajat voivat vaihdella muutamasta sekunnista useisiin minuutteihin riippuen anturin asennustavasta ja tyypistä.

Mittauksissa anturi kytketään mittasiltaan. Pt-100-anturin mittasilta sijaitsee lämpötilälähtetimestä. Lähettimeen johdetaan syöttöjännite ja ulostulona saadaan virta- tai jänniteviestinä lämpötila. (Miettinen ym. 2009, 440 - 441.)

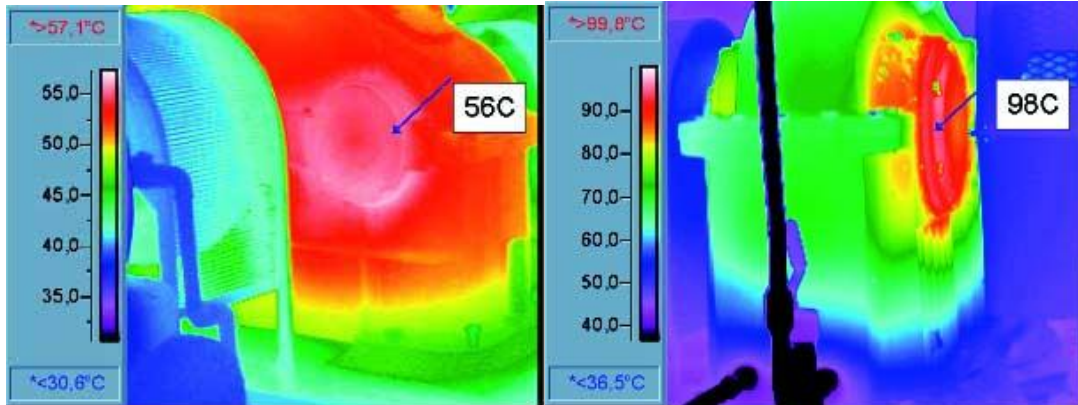
Termoelementtipari muodostuu kahdesta galvaanisesti yhdistetystä eri metallia olevasta langasta. Lankamateriaaleja on saatavissa eri lämpötila-alueille. Anturin ulostulojännite on epälineaarinen ja suuruudeltaan se on joitakin kymmeniä millivolteja. Epälineaarisuudesta johtuen tarvitaan jännitteen lineaarisointipiiri. Lineaarisointi hoidetaan yleensä mittalaitteessa, jossa on valittavana useita eri elementtivaihtoehtoja. Termoelementtipareissa voidaan käyttää samoja lämpötilälähtimiä kuin Pt-100-anturissa. Lämpötilälähtimet ovat ohjelmoitavissa erilaisille langoille, lämpötiloille ja lineaarisoinneille. Termoelementtilankoja voidaan vetää pitkiä etäisyyksiä, useita kymmeniä metrejä, mikä lisää niiden käyttömahdollisuuksia. (Miettinen ym. 2009, 441 - 442.)

3.1.2 Koskemattomia lämpötilan mittaamenetelmiä

Koskemattomat lämpötilan mittaamenetelmät perustuvat lämpösäteilyyn, joka taas on sähkömagneettista säteilyä. Kappaleen pintamateriaalirakenne ja pintakäsittely määrittävät kuinka suuri osa kappaleesta tulevasta säteilystä on kappaleen itsensä lähettämää säteilyä. Metalliset ja varsinkin kromatut pinnat heijastavat voimakkaasti ympäristön energiaa. Tämän vuoksi infrapunaan perustuvia koskemattomia lämpötilanmittaamenetelmiä ei voida käyttää alle 100 °C:n lämpötilojen mittaukseen. Koskettamattomalla pintalämpötilamittarilla, yleisimmin infrapunalämpömittari, voidaan mitata kappaleen lämpötilaa liikuttamalla käsivaraisesti mittaria pinnan eri kohdissa. (Miettinen ym. 2009, 443 - 444.)

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvauskohteen pinnan lämpösäteilyä. Lämpökameran käytöllä saavutettava suurin etu on se, että sillä saadaan lämpötilatieto suurelta alueelta yhdellä mittauksella. Ilmaisimatriisi eli lämpökameran ilmaisinkenno muuttaa lämpösäteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostetaan digitaalisesti reaaliaikainen lämpökuva. (Miettinen ym. 2009, 444.)

Kuvassa 1 nähdään laakerinkunnonvalvonnassa käytetyn lämpökameran kuvia kunnossa olevasta ja viallisesta laakerista. Viallinen laakeri on selvästi ympäristöään lämpimämpi.



KUVA 1. Kunnossa oleva laakeri (vasen), viallinen laakeri (oikea)
(Lämpökamera. 2010)

3.2 Värähtely

Kaikki pyörivät koneet värähtelevät jollakin taajuudella ollessaan käynnissä. Voimia, jotka saavat rakenteen värähtelemään kutsutaan herätteiksi. Herätteitä aiheuttavat erilaiset dynaamiset voimat, jotka voivat syntyä koneen normaalista toiminnasta, valmistuksen tai asennuksen virheellisyydestä sekä vikaantumisesta. Tyypillisimmin värähtelyn heräteinä toimivat epätasapaino, valmistuksen tai asennuksen epätarkkuus. Kuluneet tai muuten vaurioituneet koneen osat toimivat myös tyypillisesti heräteinä. (Mikkonen – Miettinen – Jantunen 2009, 224.)

Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty mittausmenetelmä kunnonvalvonnassa. Oikein sovellettuna värähtelymittaus on useimmissa tapauksissa paras ennakkoivan kunnossapidon mittausmenetelmä. (Nohynek ym. 2004, 17.)

Värähtelymittausmenetelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan: yksinkertaiset menetelmät laitteiden yleistärinän valvontaan ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan, monimutkaisemmat menetelmät laitteiden tärinän yksityiskohtaiseen valvontaan ja laakereiden kunnonvalvontaan. (Nohynek ym. 2004, 18.)

Värähtelymittausten avulla tapahtuva vianmääritys perustuu värähtelyvasteiden tai niiden muutosten havainnointiin. Herätteen aiheuttaa koneen rakenteeseen kohdistuva voima, joka pyrkii saamaan koneen rakenteen värähtelemään. Rakenteeseen kohdistuvaa herätettä kutsutaan myös pakkovoimaksi. Pakkovoimat voivat johtua mahdollisesta viasta koneessa tai ne voivat myös liittyä koneen normaaliin käyntiin. (Mikkonen ym. 2009, 224.)

Paras mittauspaiikka värähtelylle olisi itse värähtelyn aiheuttajaksi epäilty osa, kuten roottori, akseli tai laakeri. Yleensä mittausta ei voida kuitenkaan suorittaa erillisestä osasta, vaan mittauspaiikaksi valitaan jokin koneen kiinteä osa, esimerkiksi runko. (Mikkonen ym. 2009, 224.)

Kunnonvalvonnassa värähtelymittauksiin yleisimmin käytettävä anturi on kiihtyvyysanturi. Perusteluina tällä ovat anturin sopivat ominaisuudet ja kohtuullinen hinta. Mittalaitteet, joihin kiihtyvyysanturi on kiinnitetty, muuttavat kiihtyvyyden nopeudeksi. Muuttamiseen käytetään analogista sähköistä integraattoria tai digitaalista laskentaa aikatasosignaalista tai taajuusspektristä. (Mikkonen ym. 2009, 229.)

Värähtelynopeutta käytetään tavallisimmin mittaussuureena, koska sen vaste on optimaalisin niillä taajuuksilla, joita yleensä halutaan tutkia. Nopeus on käyttökelpoisin taajuusalueella 10 – 1 000 Hz. Alle kymmenen hertsin taajuuksilla siirtymä on nopeutta käyttökelpoisempi ja vastaavasti yli tuhannen hertsin taajuuksilla kiihtyvyys on käyttökelpoisempi. (Mikkonen ym. 2009, 228.)

PSK 5706 -standardin mukaan kunnonvalvonnan värähtelymittauksissa on hyvä käyttää seuraavia menetelmiä:

Värähtelyn kokonaistason valvonta on yksinkertaisin ja samalla useimpien vikojen havaitsemiseen epäherkkä menetelmä. Akselivärähtelyn kokonaistasona valvotaan huippuarvoa, huipusta huippuun arvoa tai kahden värähtelysignaalin vektorisumman maksimiarvoa S_{\max} ,

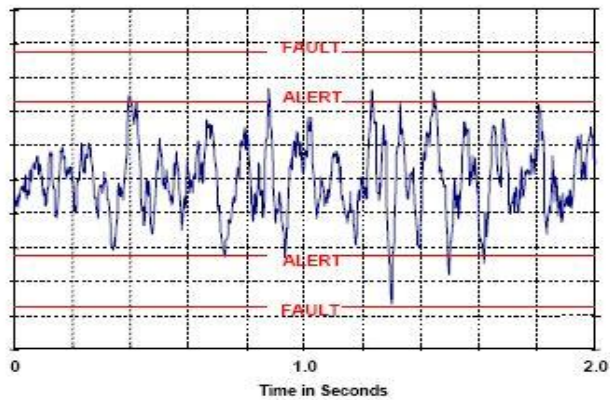
Tunnuslukuvalvonnassa standardin mukaan yleisimmät taajuustasosta lasketavat tunnusluvut ovat

- pyörimistaajuudella tapahtuvan värähtelyn voimakkuus
- pyörimistaajuudella tapahtuvan värähtelyn vaihekulma
- pyörimistaajuuden monikerroilla tapahtuvan värähtelyn voimakkuus
- värähtelyn voimakkuus vierintälaakerin sysäystaajuuksilla ja niiden monikerroilla
- värähtelyn voimakkuus lapataajuudella ja sen monikerroilla
- värähtelyn voimakkuus hammaspyöräparin ryntötaajuudella, sen monikerroilla ja niiden sivunauhoilla
- rakenteen valitun ominaistaajuuden sisältävän taajuuskaistan tehollisarvo
- harmonisten värähtelykomponenttien tehollisarvo
- ei harmonisten värähtelykomponenttien tehollisarvo
- aliharmonisten värähtelykomponenttien tehollisarvo
- muun valitun taajuuskaistan tehollisarvo.

Yleisimmät aikatason valvontamenetelmät standardin mukaan ovat

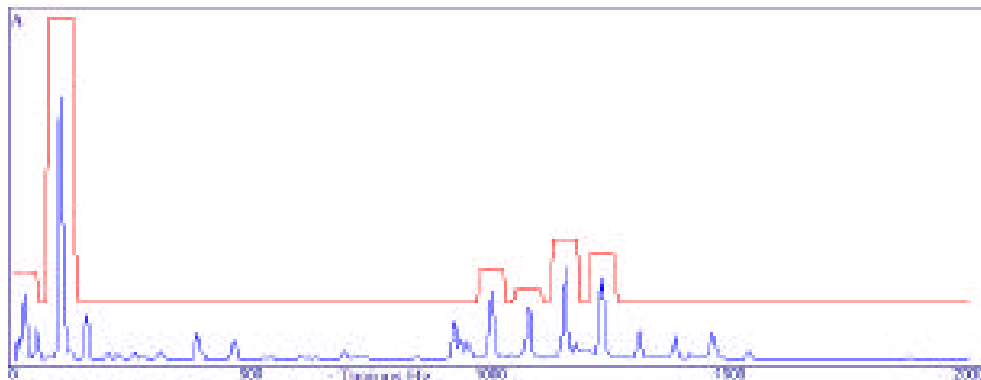
- tehollisarvo
- huipusta huippuun arvo
- huippuarvo
- huippukerroin eli crest factor
- kurtosis.

Aikatasovalvonnalla tarkoitetaan mitatun näytteen muodon vertailua valittuun hälytysrajaan. Hälytysrajana voidaan käyttää joko amplitudiarvoa tai referenssimittauksen perusteella muodostettua hälytysrajakäyrää, kuten kuvassa 2. Aikatasovalvonta voidaan suorittaa joko yksittäisestä näytteestä tai useamman tahdistetun näytteen keskiarvosta, jolloin tahdistamaton värähtely vaimenee.



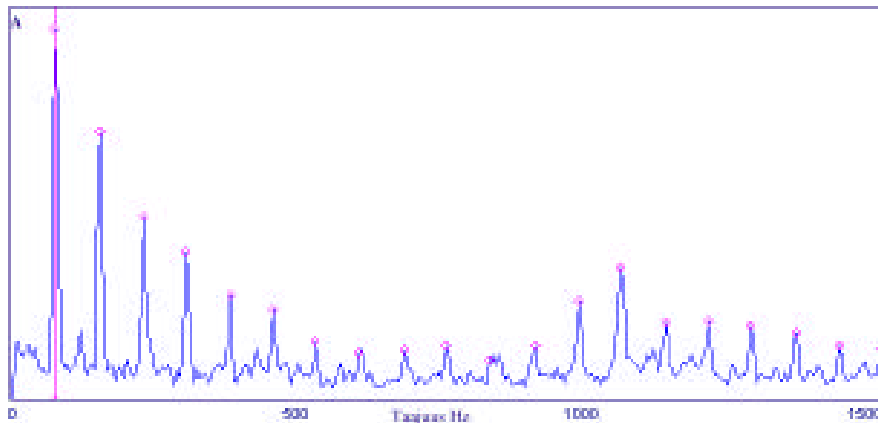
KUVA 2. Aikatasovalvonta (PSK 5706, 2)

Spektrivalvontaa voidaan käyttää useiden eri vikaantumismekanismien havaitsemiseen. Siinä verrataan mitattua spektriä aikaisempien mittausten perusteella muodostettuun hälytysrajaspektriin. Kuvassa 3 mitattu spektri jää alle hälytysrajaspektrin, joka on merkitty punaisella.



KUVA 3. Spektrivalvonta (PSK 5706, 2)

Verhokäyrävalvonnalla voidaan havaita jo varhaisessa vaiheessa olevia isku- maista herätettä synnyttäviä vikoja. Vian aiheuttama korkeataajuinen värähtelysignaali muokataan kuvan 4 mukaisella amplitudidemodulaatiolla eli verhokäyrämenetelmällä matalataajuiseksi signaaliksi, jota voidaan valvoa tunnusluvun, aikatazon tai spektrin avulla. Verhokäyrävalvonta soveltuu hyvin esimerkiksi hitaasti pyörivien koneiden valvontaan.



Kuva 4. Verhokäyräspektri, jossa erottuvat sysäystaajuus ja sen monikerrat (PSK 5706, 2)

Korkeataajuisilla valvontamenetelmillä tarkoitetaan PSK 5706 -standardin mukaan korkeataajuisia valvontamenetelmiä, joissa käytetään yli 20 kHz:n taajuuksia värähtelyn mittaamiseen. Tyypillisiä käyttökohteita ovat vierintälaakereiden, liukulaakereiden ja hammasvaihteiden kunnonvalvonta sekä niiden voitelutilanteen ja voiteluaineen sisältämien epäpuhtauksien valvonta. Korkeataajuisen signaalin analysointimenetelmänä käytetään yleensä tunnuslukuvalvontaa, verhokäyrävalvontaa, pulssilaskentaa tai signaalin nousu-, lasku- ja kestoajan mittaamista.

Kepstrillä valvotaan spektrin säännöllisyyksiä. Säännöllisyyksiä voivat olla harmoniset- ja sivunauhataajuuudet. Tyypillisiä valvontakohteita ovat hammasvaihteistot.

3.3 Öljyjen hiukkasmittaukset

Voiteluaine on rinnastettavissa yhdeksi koneen osaksi ja näin ollen voiteluaine-analyysien avulla saadaan arvokasta tietoa koneen osien kulumisesta, voitelun tehokkuudesta ja itse voiteluaineen kunnosta. (Miettinen ym. 2009, 428.)

Voiteluaineanalyysit ovat tärkeä menetelmä kunnonvalvonnan työkaluina koneiden kuntoa määritettäessä ja mahdollisessa vianmäärityksessä. Tämän vuoksi voiteluaineanalyysien liittäminen kiinteäksi osaksi koneiden kunnonvalvontaa on

erittäin perusteltua. Nykyisin analyysimenetelmät ovat kehittyneet yhä enemmän online-järjestelmien yhteyteen. Analyysitulosten nopea saatavuus mahdollistaa tuloksien nopean hyödyntämisen kunnonvalvontatoimenpiteisiin. (Miettinen ym. 2009, 428.)

Hiukkasanalyysillä seurataan koneen kuntoa, voiteluaineen puhtautta ja epäpuhtaushiukkasten kokojakaumaa. Analyysi käsittää kiinteiden hiukkasten kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen analysoinnin. (Miettinen ym. 2009, 32.) Kvalitatiivinen analyysi edustaa kulumistapahtumia koko öljynvaihtovälin ajan, ei pelkästään hetkellistä kulumistilannetta. (Korpi – Manninen – Rinkinen – Suontama 2003, 167.)

Otetusta öljynäytteestä voidaan määrittää ISO 4406 -standardin tai NAS 1638 -standardin mukainen puhtausluokka joko käsin tehtävän mikroskooppilaskennan avulla tai automaattisen hiukkaslaskimen avulla. Automaattisen laskennan tuloksena saadaan myös suoraan lista hiukkasten kokojakautumasta.

Hiukkaskokoerottelussa lasketaan öljynäytteen hiukkasmäärät vähintään kahdeksalla kokoluokalla: ≥ 4 , ≥ 6 , ≥ 10 , ≥ 14 , ≥ 21 , ≥ 25 , ≥ 38 ja $\geq 70 \mu\text{m}_{(c)}$. Öljynäytteen suuria hiukkasia tarkastellaan omissa kokoluokissaan. Syynä tähän on suurien hiukkasten välitön havaitseminen ja niiden määrän mahdollinen kasvamisen. ISO 4406 -puhtausluokituksen kolmas numero ilmoittaa kaikkien $\geq 14 \mu\text{m}_{(c)}$ hiukkasten määrää vastaavan tason. Kulumisvaurion alkuvaiheessa metalliosista lohkeilee kymmenien tai jopa yli sadan mikrometrin hiukkasia. Näiden suurien hiukkasten pieni määrä häviää kaikkien yli $14 \mu\text{m}_{(c)}$ hiukkasten kokonaismäärään, jolloin ne eivät aiheuta merkittävää puhtausluokan muutosta. (Niiranen 2009.)

Taulukon 1 mukaisten ISO 4406 -puhtausluokkien lisäksi öljynäytteiden puhtautta kannattaa tarkastella hiukkasmäärien perusteella usealla eri kokoluokalla laajalta kokoalueelta, eli niin kutsutun hiukkaskokoerottelun mukaisesti. Hiukkaskokoerottelu paljastaa kulumisvaurion herkemmin kuin pelkkä ISO 4406 -puhtausluokitus

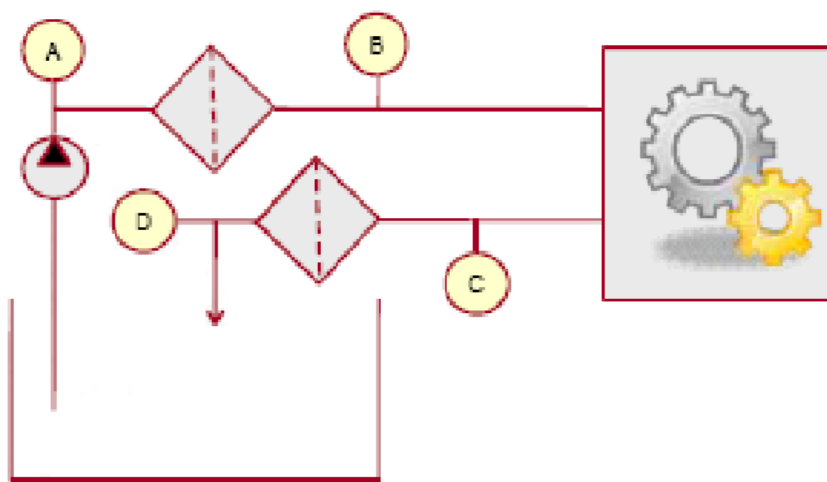
TAULUKKO 1. ISO 4406:1999 -puhtausluokitustaulukko (Niiranen 2009)

Hiukkasmäärä /1 ml		Hiukkasmäärä / 10 ml		Hiukkasmäärä / 100 ml		ISO-4406 puhtausluokka
>	≤	>	≤	>	≤	
2.500.000		25.000.000		250 milj.		> 28
1.300.000	2.500.000	13.000.000	25.000.000	130 milj.	250 milj.	28
640.000	1.300.000	6.400.000	13.000.000	64.000.000	130 milj.	27
320.000	640.000	3.200.000	6.400.000	32.000.000	64.000.000	26
160.000	320.000	1.600.000	3.200.000	16.000.000	32.000.000	25
80.000	160.000	800.000	1.600.000	8.000.000	16.000.000	24
40.000	80.000	400.000	800.000	4.000.000	8.000.000	23
20.000	40.000	200.000	400.000	2.000.000	4.000.000	22
10.000	20.000	100.000	200.000	1.000.000	2.000.000	21
5.000	10.000	50.000	100.000	500.000	1.000.000	20
2.500	5.000	25.000	50.000	250.000	500.000	19
1.300	2.500	13.000	25.000	130.000	250.000	18
640	1.300	6.400	13.000	64.000	130.000	17
320	640	3.200	6.400	32.000	64.000	16
160	320	1.600	3.200	16.000	32.000	15
80	160	800	1.600	8.000	16.000	14
40	80	400	800	4.000	8.000	13
20	40	200	400	2.000	4.000	12
10	20	100	200	1.000	2.000	11
5	10	50	100	500	1.000	10
2,5	5	25	50	250	500	9
1,3	2,5	13	25	130	250	8
0,64	1,3	6,4	13	64	130	7
0,32	0,64	3,2	6,4	32	64	6
0,16	0,32	1,6	3,2	16	32	5
0,08	0,16	0,8	1,6	8	16	4
0,04	0,08	0,4	0,8	4	8	3
0,02	0,04	0,2	0,4	2	4	2
0,01	0,02	0,1	0,2	1	2	1
0	0,01	0	0,1	0	1	0

Yksittäisen öljynäytteen hiukkaslaskentatulokset kertovat näytteenottoajankohdan mukaisen tilanteen näytteenottoa kohdalla. Puhtausluokan perusteella tiedetään öljyn yleinen epäpuhtaus taso. Hiukkaskokoerottelun mittauksella nähdään lisäksi erikokoisten hiukkasten määrät ja erityisesti suurten hiukkasten mahdollinen esiintyminen. Kyseisen standardin mukaan luvun kasvaminen tai pieneminen yhdellä vastaa hiukkasmäärän kaksinkertaistumista tai puoliintumista.

Kulumismekanismit tai kulumisen aiheuttajat voidaan selvittää tutkimalla kulumishiukkasten muotoa. Hiukkasten määrää voidaan myös seurata tietyllä seurantaajaksella. Jos tietty hiukkastyypin lisääntyminen on olennaisesti seurantaajan aikana, tästä voidaan tehdä johtopäätöksiä kulumisvaurion vakavuudesta. (Niiranen 2009.)

Näytteenottopaikkaa valittaessa täytyy muistaa, että öljyjärjestelmän hiukkas-
määrä ei ole vakio ajan eikä paikan suhteen. Usein hiukkaslaskentaan tarkoitet-
tu öljynäyte otetaan sieltä, mistä sen saa helpoiten näytepulloon, tai suoraan
hiukkaslaskimeen. Saatu näyte on sopiva öljyn kuntoa tarkasteleviin kemiallisiin
analyysihin tai vesipitoisuuden mittaukseen, mutta kyseisen näytteen hiukkas-
laskentatulokset eivät kerro vastausta tutkittuun ongelmaan. Hiukkaslaskennan
näytteenottopaikka täytyy valita sen mukaan, mitä tietoa mittaustuloksella
haetaan. Kuvan 5 öljyjärjestelmän kaaviokuvan näytteenottopisteet A - D anta-
vat toisistaan poikkeavia hiukkas määrätuloksia. (Niiranen 2009.)



KUVA 5. Öljyjärjestelmän näytteenottopaikat (Niiranen 2009)

Näytteenottopaikasta A saadaan säiliöstä tuleva öljy, joka samalla kertoo
pumpun kunnon. Näytteenottopaikasta B otettu näyte kertoo pääsuodattimen
kunnon, eli kuinka puhdasta öljyä järjestelmään syötetään. Näytteenottopaikka
C:n öljy sisältää mahdolliset koneistoon päässeet ulkoiset epäpuhtaudet sekä
kulumishiukkaset. Koneiston kunnonvalvonnan ja hiukkaslaskennan kannalta
paikka C on hyvä öljynäytteen mittauspaiikka. Näytteenottopaikka D paljastaa
paluusuodattimen kunnon. Paikasta D ei saada enää tietoa koneiston kulumis-
hiukkasista. (Niiranen 2009.)

4 LANGATON TIEDONSIIRTO

Langattomat tiedonsiirtoverkot tarjoavat monia luotettavia tiedonsiirtomahdollisuuksia kunnonvalvonnan sovelluksiin. Langattomat tiedonsiirtotekniikat tuovat myös useita hyötyjä:

- Mittauspisteeltä oleva anturi voi lähettää automaattisesti reaaliaikaisia mittaustuloksia.
- Koneiden kriittisten osien kulumista voidaan seurata. Mahdollisiin vikatilanteisiin voidaan reagoida ajoissa ja hallitsemattomat koneiden alasajot välttää.
- Etäluettavuus lisää työturvallisuutta, jos anturit on sijoitettu hankalasti tavoitettaviin tai vaarallisiin paikkoihin.
- Tuotantoprosessi on mahdollista optimoida mittauksilla ja tulosten keräämisellä. (Järviö 2004, 174.)

Tarvittavia komponentteja mitattavien laitteiden ja kunnossapidon tietojärjestelmien välillä ovat seuraavat:

- langaton etälaitte, jolla on matkapuhelimen kaltaiset kommunikointiominaisuudet. Langaton etälaitte voi lähettää ja vastaanottaa dataa mobiiliverkon välityksellä. Etälaitte asennetaan osaksi valvottavaa konetta, jonka halutaan olevan etäyhteydessä kunnossapidon tietojärjestelmään. Langattomia etälaitteita valmistavat useimmat matkapuhelinvalmistajat. Kommunikointi tapahtuu mobiiliverkon välityksellä.
- mobiiliverkko, joka hoitaa tiedonsiirron langattomien etälaitteiden välillä. Langaton etälaitte tarvitsee yhteyden, joka mahdollistaa tiedonsiirron. Yhteystyyppin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat siirrettävän tiedon määrä, siirtoajankohta ja siirtotaajuus, eli kuinka usein tietoa tarvitsee siirtää.
- Gateway, joka toimii yhdyskäytävänä. Tarkoituksena on välittää viestit Internet-palvelimella sijaitsevan kunnossapidon tietojärjestelmän ja mobiiliverkossa olevien etälaitteiden välillä.
- muut langattomat tiedonsiirtotekniikat, joita voidaan käyttää mobiiliverkkojen ominaisuuksia täydentävinä ratkaisuin. (Järviö 2004, 175 - 177.)

4.1 Pitkän kantaman langattomat tiedonsiirtotavat

GPRS on GSM-järjestelmän laajennus, jossa dataa välitetään GSM-verkon kautta. Kaikki välitettävä data on Internet-protokollan (IP) mukaista dataa. Yhteys muodostetaan päätelaitteen ja esimerkiksi Internet-verkon välille. Fyysisesti yhteyden ei tarvitse olla koko ajan muodostettuna vaan yhteys on aktiivinen vain datan siirron ajan. GPRS-palvelussa operaattorin on mahdollista laskuttaa vain siirretystä datasta. (Penttinen 2001, 49.)

GPRS-verkosta voidaan yhdistyä Internet-verkkoon ja X.25-protokollan mukaisiin pakettikytkentäisiin verkkoihin. GPRS-päätelaitteilla sekä -verkkoelementeillä on omat Internet-osoitteensa. (Penttinen 2001, 50.)

Pakettikytkentäisen palvelun avulla teoriassa pystytään saavuttamaan hetkellisesti datan siirtonopeudeksi 170 kb/s. Käytännössä nopeus riippuu laitteiston ominaisuuksista, verkon kuormituksesta ja häiriötasosta, jolloin todellinen siirtonopeus jää noin 30 - 40 kb/s tasolle. (Penttinen 2001, 51.)

EDGE perustuu GPRS-tekniikkaan. EDGE tunnetaan myös lyhenteellä EGPRS, joka tulee sanoista Enhanced GPRS. Joskus siihen myös viitataan markkinointitermillä 2.5G, koska se on parannettu toisen sukupolven tekniikka (2G), mutta se ei ole vielä varsinaista kolmannen sukupolven tekniikkaa (3G). (Wikipedia. 2011, hakusana EDGE.)

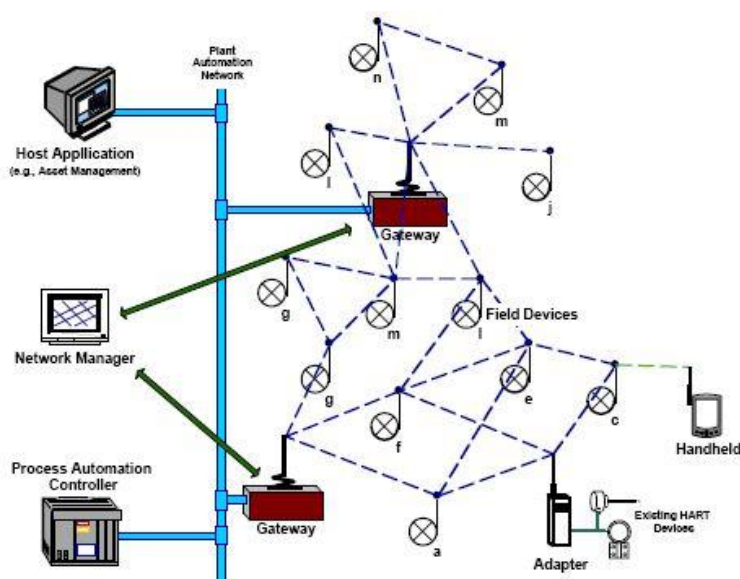
EDGE-standardi mahdollistaa 236,8 kb/s tiedonsiirtonopeuden päätelaitteelle neljää aikapaikkaa käytettäessä ja teoriassa 473,6 kb/s kahdeksalla aikapaikalla. Yksi aikapaikka on siis 59,2 kb/s. Käytännössä loppukäyttäjien kokemat nopeudet GSM/EDGE-päätelaitteilla ovat keskimäärin 160 - 200 kb/s luokkaa, ja parhaimmillaan 296 kb/s vastaanottosuunnassa. Lähetyssuunnassa vastaavasti saavutetaan keskimäärin 80 - 160 kb/s nopeudet, ja parhaimmillaan 236,8 kb/s nopeus. Tämä on keskimäärin kolmin- tai nelinkertainen nopeus verrattuna olemassa oleviin GSM/GPRS-laitteisiin nähden. (Wikipedia. 2011, hakusana EDGE.)

4.2 Lyhyen kantaman langattomat tiedonsiirtotavat

HART-protokolla on paljon teollisuusautomaatiossa käytetty menetelmä digitaalisessa muodossa olevan tiedon analogisessa siirtämisessä. Digitaalisen datan siirto perustuu virtaviestinä (4 - 20mA) olevan analogisignaalin päälle taajuusmoduloituun siniaaltoon. (Pyyskänen 2007, 82.)

HART-protokollan langaton sovellus, WirelessHART, mahdollistaa langattomien laiteverkkojen rakentamisen, joka käyttää HART-teknologiaa tiedonsiirrossa.

WirelessHART perustuu aikasykronoituun itseorganisoituvaan MESH-verkkorakenteeseen taajuushyppelyllä. WirelessHART on turvallinen ja kestävä verkkoteknologia, joka toimii maailmanlaajuisella 2,4 GHz:n ISM-radiotaajuudella. Turvallisuus on varmistettu salauksella, autentikoinnilla ja eheyden tarkistuksella. Yhden laiteverkon jokaisella laitteella on oma verkko-tunnus ja liittymisavain. Samaan verkkoon voidaan liittää eri valmistajien HART-teknologiaan perustuvia laitteita. Samalla prosessi- tai voimalaitosalueella voi olla monia yhtä aikaa toimivia verkkoja. (Hakonen 2011.) Tällöin verkon kenttälaitteet toimivat tiedonsiirron reittinä kuvan 6 mukaisesti muille verkon laitteille oman toimintansa rinnalla.



KUVA 6. Perinteisen langattoman HART sovelluksen rakenne (Hart Communication foundation 2007)

Yhden verkon suurin koko on tyypillisesti 50 - 100 laitetta riippuen tiedonsiirron päivitysvälistä. Kenttälaitteiden konfiguroinnit, käyttöönotot ja käytönaikainen toimintakunnon seuraaminen suoritetaan HART-protokollan mukaisilla ohjelmistoilla ja käyttöliittymillä. HART-laitteita voidaan käyttää räjähdysvaarallisilla EX-alueilla. (Hakonen 2011.)

Langattoman verkon välittämät tiedot siirretään perinteiseen kenttäväylään Gateway-yksikön avulla. Haluttu data, kuten mitattu värähtely tai lämpötila voidaan siirtää Modbus-pohjaisilla sarjaliittymillä. Koneiden toimintakuntoa sekä diagnostiikkatietoja voidaan seurata HART-protokollan määrittelyjen mukaisilla laitehallinnan ohjelmistoilla. (Hakonen 2011.)

WirelessHART:lla saavutettavia etuja ovat

- kohteet, jotka työllistävät kunnossapitoa, saadaan jatkuvaan seurantaan
- jatkuvamittauksen lisääminen kohteeseen, jossa se on aikaisemmin ollut mahdotonta teknis-taloudellisista syistä
- elinkaarensa loppuvaiheessa olevien kenttälaitteiden uusiminen ilman kaapelointimuutoksia. (Hakonen 2011.)

WLAN perustuu IP-pohjaiseen verkkoon, joka käytännössä näkyy käyttäjälle tavallisena Ethernet TCP/IP-verkkona. Langattomia lähiverkkoja koskevassa standardissa IEEE 802.11 on määritetty WLANin radioliikenteen taajuusalueeksi 2,4 GHz. Alkuperäinen tiedonsiirtonopeus 2,4 GHz:n taajuudella oli 1,2 Mb/s. Standardin lisämäärittelyillä nopeudeksi on nostettu 54 Mb/s. Taajuusalueen kasvaessa aina 6 GHz asti, tiedonsiirtonopeus on jopa 600 Mb/s. (Pyyskänen 2007, 82 - 83.)

Bluetooth on lisenssivapaa avoin määrittely lyhyen etäisyyden radioyhteyksille. Se toimii maailman laajuisella 2,4 GHz:n ISM-taajuudella. Bluetooth on tarkoitettu lähinnä langattomaan tiedonsiirtoon laitteiden I/O-yksiköiden välillä. (Pyyskänen 2007, 83.)

Bluetoothin kantomatka riippuu käytettävästä radioluokasta:

- luokan 3 radioilla kantosäde on 1 metri
- luokan 2 radioilla, joita yleensä käytetään mobiiliteknologiassa, kantosäde on 10 metriä
- luokan 1 radioilla, joita yleisimmin käytetään teollisuuden sovelluksiin, kantosäde on 100 m.

5 TYÖN SUORITUS

Tässä luvussa kerrotaan kunnonvalvontamittausten suorittamisesta ja esitellään käyttökohteita, jotka olisi perusteltua liittää etävalvonnan piiriin. Lisäksi esitellään työn teknologiaselvityksen tuloksina löytyneitä älykkäitä antureita ja etävalvontajärjestelmiä, joilla etävalvonta olisi mahdollista toteuttaa.

5.1 Perehtyminen nykykäytänteisiin

Mittauskierroksia suoritetaan Fortumin omilla laitoksilla sekä kohteissa, joissa Fortumilla on mittauspalvelusopimus. Mittauskierrokset räätälöidään jokaisen kohteen tarpeiden mukaisiksi. Seuraavassa kuvaus mittauskierroksesta on esimerkki vain yhdestä kohteesta. Tämän työn tarkoituksena on selvittää vaihtoehtoja kohteiden etävalvonnan toteutukselle. Etävalvontaa on suunniteltu kohteisiin, joissa täytyy käydä usein tekemässä mittauksia ja joissa mittaja ei ole lähellä.

Mittauskierros suoritettiin 21.12.2010 Oy Kokkola Power Ab:n voimalaitoksella, jossa Fortumilla on sopimus kunnossapidon asiantuntijapalveluista. Periodisia värähtelymittauskierroksia tehdään ennalta laaditun suunnitelman mukaisesti.

Mitattavia laitteita mittauskierroksella oli 41 ja niistä mitattiin 32 laitetta. Mittauspisteitä oli noin 20 kpl/ kone eli mitattuja pisteitä noin 640 ja mittaamatta jäi 180 pistettä. Jos mittauskierroksella on suurempia vaihteistoja, mittauspisteitä saatetaan olla 40 - 60 kpl/ laite. Kaikille mitattaville laakereille suoritetaan mittaukset aksiaali- ja radiaalisuunnassa.

Periodiset mittauskierrokset on pyritty ajoittamaan laitoksen arvioituihin kuormitushuippuihin, jolloin suurin osa laitteista on toiminnassa täydellä teholla. Lisäksi periodisia mittauskierroksia suoritetaan ennen vuotuisia huoltoseisokkeja, jotta silloin mahdollisesti löytyvät viat pystytään korjaamaan heti tulevassa

huoltoseisokissa. Laitoksen käynnistyttyä seisokin jälkeen suoritetaan myös mittaukset, jotta nähdään ovatko korjaustoimenpiteet onnistuneet.

Mittausten jälkeen mittaustulokset analysoidaan tietokoneohjelmalla, jolloin viat pystytään määrittämään hyvinkin yksityiskohtaisesti. Joissakin tapauksissa vika on yksiselitteinen.

Eräässä mitatussa taajuusmuuttajakäyttöisessä sähkömoottorissa havaittiin moottorin N-pään vierintälaakerin kuluneen akselivirran vuoksi. Vaurioitunut laakeri tulee vaihtaa välittömästi. Pelkällä laakerin vaihtamisella tilanne parantuu vain hetkeksi. Kunnossapidon tavoitteena on myös parantaa koneiden käytettävyyttä. Edellä mainitussa tapauksessa parantavana toimenpiteenä moottorin N-pään laakeri tulisi suojaeristää, jolloin moottorin sisälle ei pääsisi syntymään suljettua virtapiiriä.

Toisessa tapauksessa savukaasupuhaltimen käyttömoottorin D-pään vierintälaakerissa havaittiin huippukertoimen voimakasta muutosta edelliseen mittaukseen verrattuna. Yksiselitteistä syytä ei pysty nimeämään vaan mahdollisuuksia voivat olla voitelukalvon rikkoontuminen tai alkava laakerin ulkokehävaurio. Korjaavana toimenpiteenä laakeri tulee voidella, jonka jälkeen sen värähtelyä mitataan uudestaan. Seurantajaksona 5 min, 30 min, 1 h, 6 h, 12 h ja 24 h voitelun jälkeen. Jos vikataajuutta ei enää havaita, syy oli puutteellisessa voitelussa. Jos taas vikataajuus alkaa esiintyä, vika on silloin joku muu.

Voimalaitoksen kannalta kriittisimmät koneet, höyryturbiini ja turbiinin kytketty generaattori, ovat kytkettynä kiinteään valvontajärjestelmään, joka välittää reaaliaikaista mittaustietoa prosessin ohjaajalle. Suurin osa mitattavista laitteista oli sähkömoottoreita ja pumppuja, joista useimmat oli vähintäänkin kahdennettuja. Kattiloiden syöttövesipumput olivat nelinkertaistettuja. Kaikki voimalaitoksen häiriöttömälle käynnille oleelliset laitteet on varmennettu. Jos käynnissä oleva pumppu, tai moottori rikkoontuu, varalla oleva käynnistetään. Käynnissä olevien laitteiden kunnonvalvontaan riittää periodiset mittauskierrokset. Viat pystytään havaitsemaan riittävän ajoissa, jolloin ne voidaan korjata suunnitellusti.

Ainoat kohteet, joissa älykkäitä antureita voisi kuvitella käytettävän tässä kohteessa, ovat vaikeissa paikoissa ja huonoissa olosuhteissa sijaitsevat paikat, eli paikoissa, joihin liittyy työturvallisuusriski. Esimerkkinä huonoista olosuhteista Kokkola Powerin voimalaitoksella oli turpeen varastosiilon pyörivä porkkanaruuvi. Ruuvia käyttävä moottori sijaitsi vaikeasti saavutettavassa paikassa, jossa on lisäksi pimeää ja paljon turvepölyä. Laitteisiin, joita halutaan tutkimusmielessä seurata, voidaan myös kytkeä älykäs anturi.

Etävalvonnan merkitys korostuu miehittämättömissä kohteissa, kuten tuulivoimaloissa ja kaukolämpöverkostojen huippukattiloissa. Huippukattilat ovat nimensä mukaisesti käytössä vain talven kylmimpänä aikana tukemassa kaukolämpöverkkoa. Tällöin huippukattilalta vaaditaan ehdotonta toimintavarmuutta. Huippukattilat koekäytetään syksyllä. Koekäytön aikana suoritetaan kunnonvalvontamittauksia, joiden perusteella arvioidaan edellytykset kattilaan häiriöttömälle toiminnalle. Koekäytön kesto on kuitenkin lyhyt suhteessa kattilan käyttöaikaan. Etävalvonnassa olevasta kattilasta pystyttäisiin saamaan käynninaikaisista mittaustietoa häiriöttömän käynnin turvaamiseksi sekä kattilaan liittyvän laitteiston käytön historiatiedon lisäämiseksi.

Varsinkin merellä tai tuntureiden huipuilla sijaitsevat tuulivoimalta ovat muihin voimalaitostyyppeihin verrattuna haastavia kohteita. Tuulivoimaloille suoritettavissa kunnonvalvontamittauksissa mitattujen koneiden määrä suhteessa siihen käytettyyn aikaan on erittäin pieni vaikean saavutettavuuden vuoksi. Etävalvonnassa olevissa tuulivoimaloissa voidaan keskittyä mittaamiseen, jolloin mitattujen koneiden määrä suhteessa siihen käytettyyn aikaan saadaan kasvatettua kannattavaksi. Etävalvontajärjestelmät mahdollistavat myös voimaloiden hallitut pysäytykset hälytysjärjestelmän avulla. Yksikin hallitsematon pysähdys esimerkiksi hammaspyörävian vuoksi voi johtaa siihen, että koko tuulivoimalan vaihteisto joudutaan nostamaan alas korjattavaksi. Merellä tehtävät nostot ovat erittäin kalliita. Ne tekevät tuulivoiman kannattamattomaksi, jos nostoja joudutaan tekemään vikojen vuoksi, jotka olisivat olleet havaittavissa etävalvontajärjestelmällä.

5.2 Älykkäät anturit

Älykkäiksi antureiksi voidaan kutsua antureita, joihin on sisällytetty muistia, päätöksentekologiikkaa ja laskentakapasiteettia. Siis, älykäs anturi on anturi joka sisältää mikroprosessorin. Tarkoituksena on, että anturi itse tallentaa datan, käsittelee mittaamaansa dataa ja tarvittaessa pystyy muokkaamaan dataa halutulla tavalla. Älykkäät anturit ovat tarkoitettu erittäin nopeaan ja tarkkaan tunnistukseen.

Perinteinen värähtelyanturi mittaa dataa passiivisesti. Signaali siirretään keskusyksikköön, jossa vasta tapahtuu signaalin prosessointi, laskenta ja analyysit. Älykkäässä värähtelyanturissa signaalin prosessointi, laskenta ja analyysit tapahtuvat anturissa. Etuna anturin sisäiselle signaalinprosessoinnille on se, ettei raakasignaalia tarvitse siirtää pitkiä matkoja keskusyksikköön, jolloin signaalin laatu kärsii. (Turunen 2010, 36.)

5.2.1 Webrosensor WBS CM301 -kunnonvalvonta-anturi

WBS CM301 on pietsosähköinen anturi, joka on kehitetty mittaamaan koneiden värähtelyä ja lämpötilaa. Anturi on suunniteltu kestäväksi vaikeisiin olosuhteisiin, josta osoituksena on IP65-koteloitiluokka. Anturia voidaan hallita etäyhteydellä Internetin välityksellä. Anturi saa tarvitsemansa virran PoE-tekniikalla. Anturin ohjelmistoa voidaan päivittää etänä Internetin välityksellä myös silloin, kun anturi on asennettuna halutussa paikassa. Anturi voi toimia kahdessa eri moodissa: automaattisesti tai kaukokäytettynä. (WBS CM301 Condition monitoring sensor. 2010.)

Anturin käyttämiseksi ja hallitsemiseksi tarvitaan erillisiä ohjelmistoja. WBS CMMM GUI on tarkoitettu CM301-anturin hallitsemiseen sekä sen signaalin reaaliaikaiseen analysoimiseen. CMMM-ohjelmaan voidaan tallentaa lista jokaisen anturin sijainnista ja kuvauksesta, jolloin anturit ovat helpommin tunnistettavissa ja hallittavissa. Ohjelmalla voi myös tallentaa anturilla mitattua dataa myöhempiä analyysia varten.

Ohjelman graafinen käyttöliittymä näyttää mittauksista kiihtyvyyden, siirtymän neljännen derivaatan ja niiden FFT-spektrit. Kaikki mittaukset tallennetaan myös yleiseen WAV-äänitiedostoformaattiin. WAV-tiedostoa pystytään analysoimaan myös muilla ohjelmilla, kuten MATLABilla. (WBS CM301 Condition monitoring sensor. 2010.)

WBS DCS 1.0 -ohjelmisto on tarkoitettu mittausdatan keräämiseen. Ohjelmisto mahdollistaa mittaussignaalin tallentamisen usealta anturilta yhtä aikaa. Kiihtyvyyden suureena ohjelma käyttää gravitaatio arvo G:tä. Signaalista on nähtävissä kiihtyvyys a , a_{rms} , huippuarvot, C-arvo ja FFT-spektri. (WBS DCS 1.0 Data collecting software user's guide. 2010.)

Langattomaan mittaukseen tarkoitettu WBS-RF-Link voi hallita maksimissaan neljää CM301-anturia, jotka kytketään RF-linkkiin kaapelilla. RF-linkkejä voidaan myös yhdistellä WLAN:n avulla, jolloin voidaan mitata esimerkiksi kahdeksaa pistettä yhtä aikaa. RF-linkki välittää anturien mittaussignaalin WLAN-tai 3G-verkon välityksellä eteenpäin.

5.2.2 Emerson CSI 9420 -langaton värähtelylähetin

CSI 9420 langaton värähtelylähetin tuottaa täyden värähtelytiedon itseorganisovalla langattomalla verkolla. Järjestelmä tuottaa hyödyllistä tietoa koneiden kunnosta sekä käyttöhenkilöstölle että kunnossapidosta vastaaville. Kokonaisvärähtely, huippuarvo ja lämpötilatieto voidaan helposti integroida mihin tahansa ohjausjärjestelmään, tai laitoksen historiatietoihin. Tarkempaa diagnostiikka varten korkealaatuinen mittausdata voidaan siirtää analysoitavaksi Machinery Health Manager -ohjelmistoon. (CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter. 2010.)

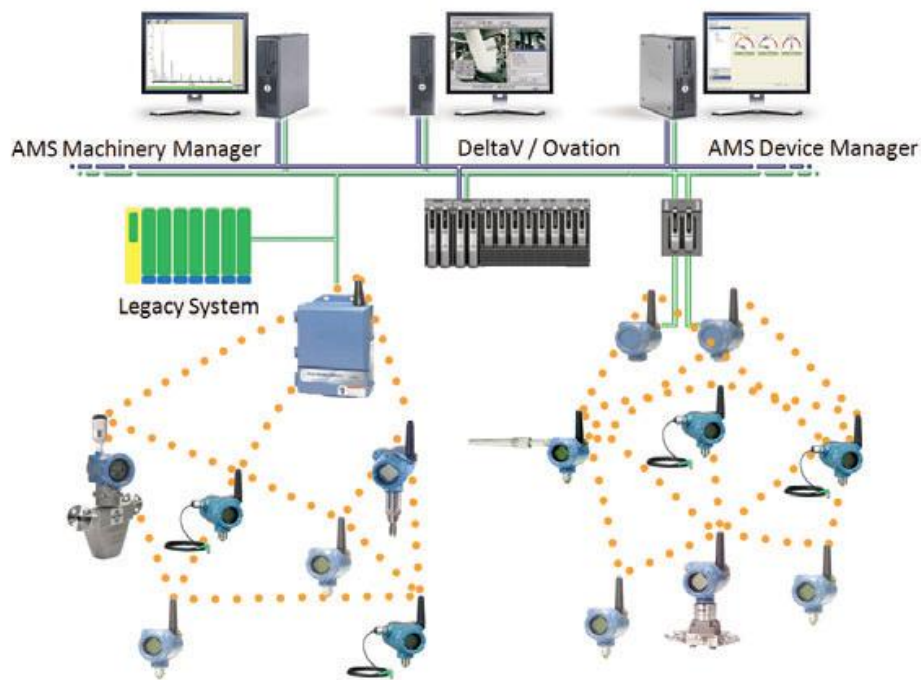
CSI 9420 on suunniteltu erityisesti vaikeasti saavutettaviin kohteisiin, kuten jäähdytystorneihin, pumppausasemiin, etäkäytettäville ja vaikeissa olosuhteissa sijaitseville laitteille.

CSI 9420 tarjoaa myös hyvän mahdollisuuden korvata ratkaisuja, jotka vaativat suuria kaapelointi- ja asennuskustannuksia. (CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter. 2010.)

Laitoksen käyttöhenkilöstölle CSI 9420 välittää tiedon pyörivien koneiden yleiskunnosta valvomoon Modbusin tai OPC:n välityksellä. Tieto värähtelyn kokonaistason noususta on esimerkiksi hyvä paljastamaan akseliongelmia, kuten epätasapainon, linjausvirheen tai mekaaniset häviöt. Huippuarvon tason nousu voi kertoa koneessa tapahtuvista iskuista tai muista kehittyvistä vioista, kuten huonosta voitelusta tai laakeriviasta. (CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter. 2010.)

Kunnonvalvontahenkilöstölle AMS Machinery Manager tuo automaattisesti yksityiskohtaisen datan kentältä työpisteeseen. Jos ohjelmiston tietokantaan on tallennettu aiemmin mittaustuloksia, uudet mittaustulokset tuovat järjestelmään saman tiedon vertailukohdaksi Emersonin kannettavalla CSI 2130 mittalaitteella kerätylle tiedolle. Jos suunniteltujen mittauskierrosten lisäksi tarvitaan päivitystä mittauksiin, AMS Machinery Managerin kautta voidaan ottaa etäyhteys värähtelylähettäjiin. (CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter. 2010.)

Värähtelylähettimien langatontiedonsiirto perustuu WirelessHARTiin. Kun verkko on kerran perustettu, uusia laitteita voidaan lisätä verkkoon häiritsemättä sen toimintaa. Heti, kun lisättyyn laitteeseen on kytketty virta, se muodostaa automaattisesti yhteyden viereisiin laitteisiin, perustaa polun Gatewayhin ja alkaa välittämään dataa. Jokainen anturi pystyy välittämään toisten antureiden mitaamaa dataa. Näin ollen antureiden muodostama kuvan 7 mukainen verkosto pystyy kattamaan suuriakin alueita. (CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter. 2010.)



KUVA 7. Emersonin itseorganisoituva älykäs langaton tiedonsiirtoratkaisu (CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter 2010)

Värähtelyanturi täytyy kiinnittää suoraan valvottavaan kohteeseen. Värähtelylähetin voidaan asentaa 30 m:n päähän anturista. Etuna tälle on ahtaiden paikkojen, joihin lähetin ei mahdu, mukaan saaminen valvonnan piiriin.

5.2.3 Moventas IVS 20

IVS 20 on älykäs värähtelyanturi, joka tekee mittauksia kolmeen suuntaan (x, y ja z). Anturiin on sisällytetty oma DSP-prosessori, jonka mittausteho on 500 MHz, mittaussignaalin prosessointia ja laskentaa varten. Laskentatehosta osoituksena on mahdollisuus 524 288 FFT-pisteen laskentaan. Signaalin käsittelyominaisuuksiin kuuluu perinteisten FFT- ja verhokäyrämenetelmien lisäksi erityisiä tuuliturbiinien tarpeisiin soveltuvia laskenta-algoritmeja, kuten RPM-skaalautuvat seurantataajuuudet, huippukerroin, värähtelyn voimakkuus ja aikataason huippuarvojen valvonta. Anturin ohjelmistoa ja uusia laskenta-algoritmeja kehitetään jatkuvasti ja ne voidaan päivittää anturiin etänä. (Turunen 2010, 36 - 37.)

5.3 Kunnonvalvonnan hiukkasmittaukset

5.3.1 Pamas S50 & S50P

PAMAS S50 ja S50P ovat erikoislasertekniikkaan perustuvia online-hiukkaslaskimia. Ne voidaan helposti yhdistää erilaisiin tiedonhallintajärjestelmiin. Laskimet mittaavat öljynäytteiden hiukkasmäärät kahdeksalla eri kokoluokalla. Hiukkaslaskimen näytöltä on luettavissa ISO 4406:1999 -standardin mukaisesti kolme puhtausluokkaa: 4 $\mu\text{m}_{(c)}$, 6 $\mu\text{m}_{(c)}$ ja 14 $\mu\text{m}_{(c)}$. Kahdeksaan kokoluokkaan jaotellut hiukkasmäärät on nähtävissä järjestelmää hallinnoivalta tietokoneelta reaaliajassa. Monipuolinen raportointi mahdollistaa hälytykset ajoissa mahdollisten häiriöiden tai kulumisvaurioiden alkamisesta ja kehitymisestä. (PAMAS S50 / S50P -online-hiukkaslaskin 2009.)

S50 on suunniteltu öljynäytteen online-hiukkaslaskentaan mekaanisessa kunnonvalvonnassa tai koneenrakennuksen puhtausvalvonnassa. Laitteessa on yhdistetty suorituskykyinen lasersensori ja digitaalinen signaalin käsittely 32 bittisen tehoproessorin ohjaamana. Mittausperiaatteena on hiukkaslaskenta valonpeittomenetelmällä. Kaikki sensorin läpi menevät hiukkaset mitataan. Mittaustulokset saadaan luotettavasti myös hyvin puhtaista öljyistä. Jos testattavassa järjestelmässä on paine, PAMAS S50 ei tarvitse erillistä pumppua. Laite pystyy tunnistamaan virtausnopeuden ja tuottamaan tarkkoja mittaustuloksia paineenvaihtelusta riippumatta. PAMAS S50 soveltuu synteettisille ja mineraaliöljyille. Öljyjen maksimi viskositeetti on 1 000 cSt. Vankkarakenteinen laite kestää hyvin käyttöä erilaisissa tuotantoympäristöissä. Kotelointiluokka on IP64. (PAMAS S50 / S50P -online-hiukkaslaskin. 2009.)

PAMAS S50P on sama tuote kuin PAMAS S50. Ainoa ero S50:een on sisäänrakennettu pumppu matalapaineisia tai paineettomia öljyjärjestelmiä varten. Käyttöä kestävä keraaminen mäntäpumppu pitää virtauksen vakiona 25 ml minuutissa varmistaen tarkat mittaustulokset. Muut kunnonvalvontatiedot, kuten vesipitoisuus, öljyn lämpötila, viskositeetti, värinä ja paine, voidaan siirtää

laitteen kautta reaaliajassa yhdessä hiukkaslaskentatietojen kanssa tietokoneelle. (PAMAS S50 / S50P -online-hiukkaslaskin. 2009.)

Laitteelle tulee järjestää putkitus siten, että virtaus on jatkuvaa. Jatkuvalle virtauksella saavutaan luotettavat mittaustulokset. Jos virtaus ei ole jatkuvaa, putkistoihin voi kasautua hiukkasia. Kasautuman lähtiessä liikkeelle virtauksen allettua tuloksena on valtava piikki mittauksissa, joka aiheuttaa turhia hälytyksiä.

Pamas on ainoa öljynvalvontalaitteistojen valmistaja, joka tarjoaa Suomessa huolto- ja kalibrointipalveluita. Muiden valmistajien laitteet pitää lähettää ulkomaille kalibroitavaksi.

5.3.2 Hydac CS 1000 & MCS 1000

Hydacin online-mittausjärjestelmät määrittävät hiukkasten lukumäärän ja koon optisten antureiden avulla. Sovelluksesta riippuen mittaus pystytään yleensä tekemään joko paine- tai paluulinjasta. Puhtausluokka määritetään hiukkasen läpi heijastettavan valon varjostuksen voimakkuuden ja keston perusteella virtausnopeus huomioon ottaen. Järjestelmät soveltuvat teollisuusvaihteistoissa ja hydraulijärjestelmissä käytettäville öljyille. Puhtaustaso määritetään ISO 4406:1999 -standardin mukaisesti siten, että hiukasmäärät jaetaan kolmeen suuruusluokkaan $> 4 \mu\text{m}_{(c)}$, $> 6 \mu\text{m}_{(c)}$, $> 14 \mu\text{m}_{(c)}$. (Hydrauliikka ja voitelujärjestelmien kunnonvalvonta. 2005.)

CS 1000 anturin kotelointiluokka on IP67. Laitetta saa joko digitaalinäytöllä varustettuna tai ilman sitä, ja siinä on useita erilaisia analogi- ja kytkinliitännöitä. Anturi kestää 450 bar painetta, ja siihen on integroitu myös öljyn lämpötilanmittaus. MCS 1000 tutkii kiinteiden metallipartikkeleiden määrää voitelunesteessä. Partikkelit havaitaan induktiivisella mittausprosessilla. Partikkelit voivat olla ferromagneettisia tai ei-ferromagneettisia ja suuruusluokaltaan yli $200 \mu\text{m}$. Induktiivisen mittausmenetelmän käyttämisellä vältetään ilmakuplien vaikutukselta mittaustulokseen. (Contamination Sensor CS 1000 & MCS Series. 2010.)

5.4 Kunnanvalvonnan etävalvontajärjestelmät

5.4.1 MyDatanet-etätiedonkeruujärjestelmä

MyDatanet-etätiedonkeruujärjestelmä mahdollistaa helpon pääsyn mittalaitteeseen ja mittausdataan riippumatta siitä, missä tiedonkeruu tapahtuu. Laittehallinta ja mittausdata saadaan käyttöön Internet-selaimella. Etätiedonkeruulaitteisto koostuu yksittäisistä tiedonkeruu moduuleista (dataloggereista), joissa on sisäänrakennettu GPRS-modeemi. Laitteistoon kuuluu lisäksi SIM-kortti sekä valmiiksi ohjelmoitu kommunikointi palvelimelle, johon mittausdata lähetetään automaattisesti. (MyDatanet. 2008.)

MyDatanet-mittalaitteyksikkö valitaan mittaustarpeen mukaan, mitä halutaan mitata. Mittalaitteyksikkö tarjoaa kaksisuuntaisen kommunikoinnin, joka mahdollistaa automaattisen mittausdatan siirron palvelimelle sekä mittalaitteen uudelleen ohjelmoinnin. (MyDatanet. 2008.)

Mittalaitteyksikön erittäin matala tehonkulutus mahdollistaa jopa viiden vuoden käytön laitteen sisäisellä akulla. Mitattu data tallentuu mittalaitteen sisäiseen muistiin, josta se siirtyy automaattisesti GPRS-yhteydellä palvelimelle halutuun aikaväleihin. Jos yhteys katkeaa, mittausdata tallentuu laitteen sisäiseen muistiin, josta se lähetetään palvelimelle yhteyden palattua. (MyDatanet. 2008.)

Mittaustiedon käsittelyä varten ei ole erillistä ohjelmaa. Kaikki mittausdatat ovat salasanasuojattuna MyDatanetin palvelimella, josta ne voidaan siirtää toiselle tietokoneelle. (MyDatanet. 2008.)

Laitteisto on nopea ottaa käyttöön ja soveltuu koneiden ja laitteiden etävalvontaan, ohjaukseen, vesistöjen valvontaan, ilmasto ja päästömittauksiin sekä sovelluksiin, joissa ei ole mittalaitteille ulkoista sähköä tarjolla. (MyDatanet. 2008.)

5.4.2 Ibexis MSP -etätiedonkeruujärjestelmä

Ibexis-etätiedonkeruujärjestelmä mahdollistaa helpon pääsyn mittalaitteeseen ja mittausdataan riippumatta siitä, missä tiedonkeruu tapahtuu. Laitehallinta ja mittausdata saadaan käyttöön Internet-selaimella. (Ibexis Monitoring Service Point. 2009.)

Etätiedonkeruulaitteisto sisältää akkukäyttöisen tiedonkeruuyksikön dataloggerilla, sisäänrakennetun GPRS-modeemin ja ohjelmoitavan anturirajapinnan kaikille yleisimmille anturityypeille. Lisäksi pakettiin kuuluu SIM-kortti sekä valmiiksi ohjelmoitu kommunikointi palvelimelle, johon mittausdata lähetetään automaattisesti. (Ibexis Monitoring Service Point. 2009.)

Laitteistoon voidaan kytkeä lähes mikä tahansa anturi tai lähetin. Mittalaitteyksikkö tarjoaa kaksisuuntaisen kommunikoinnin, joka mahdollistaa automaattisen mittausdatan siirron palvelimelle sekä myös mittalaitteen uudelleen ohjelmoinnin. (Ibexis Monitoring Service Point. 2009.)

MSP:n erittäin matala tehonkulutus mahdollistaa jopa viiden vuoden käytön laitteen sisäisellä akulla. Mitattu data tallentuu mittalaitteen sisäiseen muistiin, josta se siirretään automaattisesti GPRS-yhteydellä palvelimelle halutuin aikavällein. Jos yhteys katkeaa, mittausdata tallentuu laitteen sisäiseen muistiin, josta se lähetetään palvelimelle yhteyden palattua. (Ibexis Monitoring Service Point. 2009.)

Laitteisto mukana toimitetaan SIM-kortti, joka sisältää 1 - 3 vuoden tiedonsiirtokulut. Käyttäjän täytyy konfiguroida ainoastaan käyttämänsä anturit. Tiedonsiirtoon liittyvät asetukset on tehty valmiiksi. Mittaustiedon käsittelyä varten ei tarvitse erillisiä ohjelmia. Mittausdatat ovat salasanasuojattuna Ibexisin palvelimella, josta ne voidaan siirtää tietokoneelle.

Laitteisto on nopea ottaa käyttöön ja soveltuu koneiden ja laitteiden etävalvontaan, ohjaukseen, vesistöjen valvontaan, ilmasto ja päästömittauksiin sekä sovelluksiin, joissa ei ole mittalaitteille ulkoista apusähköä tarjolla.

5.4.3 Moventas CMaS

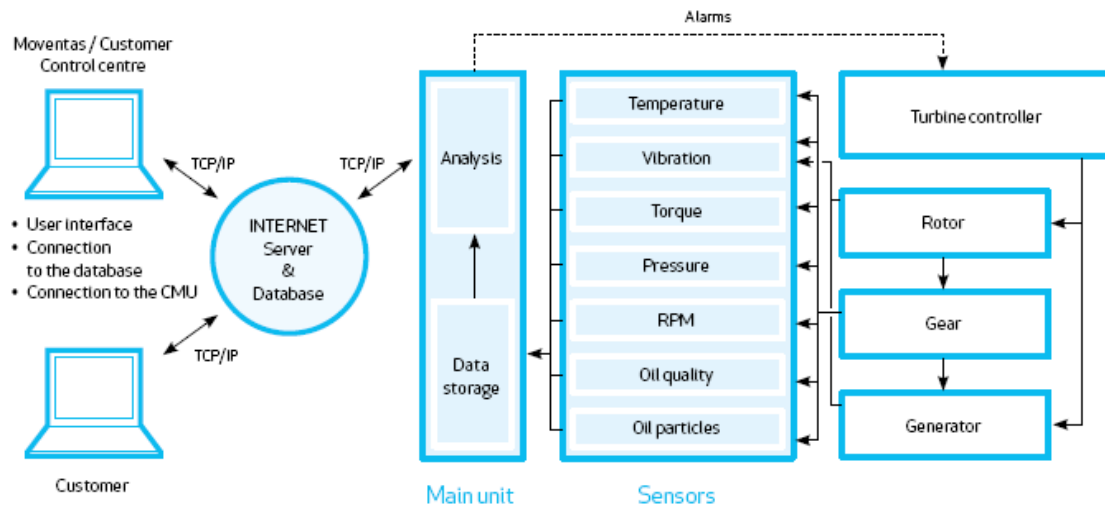
Moventas CMaS (Condition Management System) on tuuliturbiinien vaihteistojen etävalvonta järjestelmä. Järjestelmän tarkoituksena on tunnistaa mahdolliset vauriot vaihteistoissa ja muissa mekaanisissa osissa etukäteen, ennen kuin viat alkavat häiritä turbiinin toimintaa. Järjestelmä koostuu useista antureista ja keskusyksiköstä, joka kerää ja prosessoi mitattua dataa. (Turunen 2010.)

Perinteisten järjestelmien keskittyessä pääasiassa pyörivien komponenttien värähtelyjen mittaamiseen, CMaS perustuu vaihteiden häiriöprosessien ymmärtämiseen. Värähtelyjen lisäksi CMaS valvoo öljyjen fysikaalista ja kemiallista laatua, kulumispartikkeleita ja painetta, kierrosnopeutta, vääntömomenttia ja lämpötilaa. (Turunen 2010.)

Moventas Condition Mangement System on suunniteltu valvomaan laitteiston suoritusparametreja, varastoimaan tietoa ja analysoimaan sitä sekä raportoimaan Internet-yhteyden välityksellä käyttäen TCP/IP-protokollaa joko Ethernet- tai GPRS-yhteydellä. Järjestelmä on täysin räätälöitävissä käyttökohteen tarpeiden mukaan. (Moventas Condition Management System. 2010.)

Järjestelmän anturit mittaavat laitteiston kuntoa seitsemällä suureella. Suuret ovat: lämpötila, värähtely, kuorma, paine, kierrosluku, öljyn ikääntyminen ja öljyjen sisältämät partikkelit. (Moventas Condition Management System. 2010.)

Kuva 8 havainnollistaa laitteiston valvomien suoritusparametrien hallintaa ja tarpeen mukaan raportointia kunnonvalvojalle. Anturit voivat valvoa tuuliturbiinien vaihdelaatikoiden lisäksi monia muita komponentteja.



KUVA 8. Periaatekaavio CMaS:n suoritusparametrien valvonnasta, säilytyksestä, analysoinnista ja raportoinnista Internetin välityksellä etävalvontakeskukseen (Moventas Condition Management System. 2010)

CMaS on kehitetty valvomaan tehokkaasti suurta määrä tuuliturbiineja yhtä aikaa. Suurien määrien yhtä aikainen valvonta on tehty mahdolliseksi juuri älykkään IVS 20 -värähtelyanturin ja öljyjen kuntoa valvovien antureiden avulla. Järjestelmään on mahdollisuus asettaa hälytystoiminto, joka välittää hälytykset valvojalle joko SMS-viestinä tai sähköpostina.

6 ANTUREIDEN JA OHJELMISTOJEN VAATIMUKSET

Kunnonvalvonta asettaa tässä työssä esitellyille antureille ja etävalvontajärjestelmille teknisiä vaatimuksia antureiden suorituskyvylle sekä etävalvontajärjestelmien ohjelmiston käyttöliittymälle sekä analysointityökaluille. Antureille ja etävalvontajärjestelmille asetetaan vaatimukset, koska antureilla valvotaan voimalaitosten prosessien kannalta tärkeitä ja kalliita koneita. Antureihin täytyy voida luottaa ja niiden tulee toimia ehdottoman varmasti, jotta valvonta olisi luotettava eikä huonoista antureista johtuvia konerikkoja pääsisi tapahtumaan.

Värähtely- ja lämpötila-antureiden mekaniikasta ja suorituskyvystä tulee ottaa selvälle seuraavia asioita:

- anturityyppi eli millainen mekaniikka anturissa on
- mittaussuure (kiihtyvyys, nopeus, siirtymä)
- mitattava taajuuskaista, vähimmäisvaatimus 10 - 1 000 Hz
- lähetettävä tieto, vain laajakaistainen kokonaistaso, kokonaistasoarvot kapeammalta taajuusalueelta, spektri, aikasarja ja verhokäyrä
- maksimi näytteenottotaajuus
- anturin fyysinen koko
- anturin virransyöttö
- jänniteulostulo automaatiojärjestelmään liittämistä varten
- tiedonsiirtoprotokollat.

Öljyjen analysointijärjestelmistä tulee ottaa selvälle seuraavia asioita:

- ulostuleva tieto, standardin mukainen partikkelimäärä ja muut öljyjen laatua kuvaavat suureet
- soveltuvuus teollisuusöljyille
- anturin virransyöttö
- anturin fyysinen koko
- vaadittavat putkitukset ja asennusvaatimukset
- tiedonsiirtoprotokollat.

Vaatimuksia pohdittaessa päädyttiin neljään kategoriaan:

1. Anturin suorituskyky

Anturin tulee täyttää mittausominaisuuksiltaan vaatimukset mitattavan taajuuskaistan, näytteenottotaajuuden ja taajuusresoluution osalta. Suorituskyvylle asettavat vaatimukset varmistavat, että mitattu signaali on tarpeeksi laadukasta ja se sisältää kaikki tärkeimmät taajuuskomponentit.

2. Signaalin käsittely

Vierintälaakereiden kuntoa arvioidessa mittalaitteissa anturilta tulevaa mittaus-signaalia täytyy voida käsitellä siten, että mittalaite ilmoittaa laakerin kunnon yhdellä tunnusluvulla. Mittalaitteen ohjelmiston tulisi kyetä muodostamaan signaalista perinteisen kokonaistason lisäksi aikataso ja taajuustaso eli spektri. Orbit eli ratakäyrävalvonta mahdollisuus laajentaa mittalaitteen käyttömahdollisuuksia liukulaakereiden valvontaan. Verhokäyräanalyysi mahdollistaa mittaus-signaalin käsittelyn, jolla korostetaan konevioista johtuvaa värähtelyä. Menetelmä tuo luotettavuutta hitaasti pyörivien koneiden sekä vierintälaakereiden valvontaan.

3. Käyttöliittymä

Värähtelymittauksissa ja sähköisissä kunnonvalvontamittauksissa analysointityökaluilla täytyy pystyä tarkastelemaan yksittäistä spektriä sekä pystyä vertailemaan useita spektrejä, jotka ovat mitattu joko samasta mittapisteestä tai eri koneesta. Samat vertailut tulee olla myös aikasignaalille.

Trendivalvonnassa analysoinnin menetelmänä on valittujen tunnuslukujen kehittymisen eli trendin seuranta. Trendiseurannalla täytyy pystyä seuraamaan muutoksen nopeutta halutulla ajanjaksolla. Trendivalvonnalla saadaan arvokasta historiatietoa valvotusta koneesta. Historiatiedon perusteella koneelle pystytään asettamaan tarkempia hälytys- ja vauriorajoja.

4. Laitteiston tekemä analysointi ja raportointi

Ohjelmistossa täytyy olla sisällytettynä analysointiohjelma, jolla voidaan ilman erillistä tiedonsiirtoa analysoida mitattua dataa. Tehokkaan kunnonvalvonnan tavoitteena on analysoida mahdollisimman monta kohdetta lyhyessä ajassa, jolloin aikaa ei ole käytettävissä eri ohjelmien väliseen seikkailuun. Analysointia varten analysointiohjelmassa täytyy olla signaalinkäsittelytyökaluja, joilla analysointia tekevä henkilö pystyy käsittelemään haluamiaan asioita mitatusta signaalista. Esimerkiksi aikatasosignaalista tulee voida ottaa vain tietty pätkä käsittelyyn, lähentää tarkasteltavan signaalin kohtaa, jotta värähtelykomponentit ja sen mahdolliset sivunauhataajuudet saadaan tarkasti näkyviin.

Luotettavaan analysointiin vaaditaan myös analysoitavan kohteen ympäristön tuntemus. Jos analysoija ei ole koskaan käynyt fyysisesti paikalla, ristiriitatilanteissa pelkän mittausdatan näkeminen ei välttämättä riitä oikeaan päätöksen tekoon.

7 TYÖN TULOKSET

Tässä luvussa on kerättyä älykkäiden antureiden ja öljyjen hiukkasmittauslaitteistojen tärkeimpiä teknisiä yksityiskohtia. Lisäksi kerrotaan työn kokeellisen osuuden toteutuksesta, tuloksista ja tuloksien vastaavuudesta referenssimittauksiin. Lopuksi todetaan luvuissa 5.3 esiteltyjen öljyjen hiukkasmittauslaitteistojen ja 5.4 esiteltyjen etävalvontajärjestelmien soveltuvuus.

Taulukoihin 2 ja 3 on kerätty työn teknologiaselvitysosuudessa löydettyjen antureiden tärkeimpiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 2. Värähtelyanturit

	WBS-CM301	Moventas IVS 20	Emerson CSI 9420
Anturityyppi	Pietsosähköinen	Pietsosähköinen	Pietsosähköinen
Mittaussuure	Kiihtyvyys	Kiihtyvyys	Kiihtyvyys
Taajuuskaista	~1Hz - 5000Hz	0Hz - 5000Hz	1,6Hz - 10kHz
Näytteenottotaajuus	160Hz - 5000Hz	200 kHz	51 kHz
Fyysiset mitat	45x45x55.5 mm	Ø54x46,6 mm	171x140x107mm
Paino	195 g	180 g	23 g
Virransyöttö	IEEE 802.3af (PoE)	+24 VDC	10 - 28 VDC
Tiedonsiirtoprotokollat	ICT	Modbus RTU	IEC 62591
Lämpötilanmittaus	-40 °C...+100 °C	- 20°C...+85 °C	-40°C...+121 °C
Hinta	600 €	-	2000 - 3000 €

TAULUKKO 3. Öljyjen analysointi

	PAMAS S50	Hydac CS 1000	Hydac MCS 1000
Mittausmenetelmä	Valonpeitto	Induktiivinen	Induktiivinen
Ulostulo tieto	4 - 20 mA	4 - 20 mA tai 0 - 10 V	4 - 20 mA tai 0 - 10 V
Soveltuvuus	Synteettisille ja mineraaliöljyil- le	Teollisuuden hydrauliikka- ja voiteluöljyt	Synteettisille ja mineraaliöl- jyille
Virran syöttö	230 VAC / 24 VDC	9 - 36VDC	9 - 36 VDC
Tiedonsiirtoprotokollat	Ethernet	-	-
Fyysinen koko	220 x 140 x 120 mm	170 x 100 x 50 mm	162 x 140 x 83 mm
Tiedon lukutavat	Analoginen 4 - 20mA, RS485 - liitäntä	Analoginen 4 - 20mA, RS485- liitäntä, HSI	RS485, HSI
Max. paine	20 bar	300 bar	20 bar
Virtaus	5 - 50 ml/min	30 - 300 ml/min	10 - 200 l/min

Taulukossa 4 on yhteenveto antureiden soveltuvuudesta kunnonvalvonnan asettamiin vaatimuksiin. Taulukkoon on merkitty antureittain rastilla soveltuvuus vaatimuksille.

TAULUKKO 4. Anturien soveltuvuus kunnonvalvonnan vaatimuksiin

Suorituskyky	WBS-CM301	Moventas IVS 20	Emerson CSI 9420
Taajuuskaista	x	x	x
Näytteenottotaajuus	x	x	x
Signaalin käsittely			
Aikataso	x	x	x
Spektrit	x	x	x
Ratakäyrä	-	-	x
Verhokäyrä	-	x	x
Käyttöliittymä	-	x	x
Analysointi ja ra- portointi	-	x	x

Työn kokeellisessa osuudessa Oulun Energian Toppilan voimalaitoksella höyryturbiinin laakeripukeissa testikäytössä olleilla Webrosensorin CM301-värähtelyantureilla mitattiin liitteen 2 mukaisia koemittauksia. Vertailumittaukset suoritettiin Fortumin kunnonvalvontakäytössä olevalla kannettavalla Emersonin CSI 2130 mittalaitteella. Vertailumittauksen tulokset ovat liitteessä 1. Vertailumittauksissa mitattiin trenditasoa ja spektrejä. Trendimittauksissa suureeksi valittiin nopeus RMS, yksikkö mm/s ja taajuuskaista 10 - 1 000 Hz. Spektrimittauksissa suureena nopeus RMS, yksikkö mm/s ja taajuuskaista 10 - 2 000 Hz.

Mittaukset suoritettiin ISO 10816 -standardissa määritellyistä mittauspisteistä. Merkinnoissa L tarkoittaa laakeria. Numero kertoo laakerin numeron ja numeron perässä oleva X, Y tai Z kertoo, mihin suuntaan mittaus on tehty.

Pisteessä L2X WBS CM301 -anturilla mitattu trenditaso vaihtelee liitteen 2/3 mukaan välillä 3,8 - 5,3 mm/s. Vertailumittalaitteella saadut arvot vaihtelevat välillä 0,5 - 0,6 mm/s (liite 1/2).

Pisteessä L2Y koelaitteiston mittaama värähtelytaso on välillä 0,6 - 0,8 mm/s. Vertailumittalaitteen mittaamat arvot ovat samalla tasolla.

Pisteessä L3Y koelaitteiston mittaama värähtelytaso on välillä 1,6 - 1,7 mm/s. Vertailumittalaitteen mittaamat arvot ovat samalla tasolla.

Pisteessä L3Z koelaitteiston mittaama värähtelytaso on välillä 1,7 - 1,8 mm/s. Vertailumittalaitteen mittaamat arvot ovat samalla tasolla.

Taajuusspektreissä (liite 2/2) koelaitteiston antureista ainoastaan kaksi neljästä löytää akselinpyörimistaajuuden 50 Hz. Lisäksi mittauspisteestä L2Y mitatussa spektrissä matalilla taajuuksilla näkyy PSK-standardissakin määritelty hiihtorinne-ilmiö, joka viittaa vialliseen anturiin, kaapeliin tai ympäristöstä aiheutuvaan häiriöön.

Testikäytön tärkeintä ja halutuinta asiaa, etäyhteyttä, ei päästy testaamaan laitevian vuoksi. Useiden korjausyritysten jälkeenkään etäyhteyttä ei saatu toimimaan.

Emerson vastaa antureista parhaiten vaatimuksia suorituskyvyltään, signaalin käsittelyltään, käyttöliittymältään sekä analysointi- ja raportointityökaluiltaan. CSI 9420 on antureista ainoa kaksikanavainen. Lähettimeen kytketään, joko yksi kiihtyvyysanturi, jossa on myös lämpötilanmittaus, tai kaksi kiihtyvyysanturia. CSI 9420:n ohjelmisto Machinery Health Manager on jo käytössä Fortumin kunnonvalvontaohjelmistona. Yhteensopivuus nykyisen ja järjestelmän kanssa on merkittävä etu. Lisäksi saman ohjelmiston käytöllä vältetään useiden rinnakkaisten ohjelmistojen käytöltä.

Ibexis MSP ja MyDatenet tarjoavat etävalvontaratkaisun langattomalla tiedonsiirrolla. Käyttäjä voi valita ja kytkeä haluamansa anturit kumpaankin järjestelmään. Valinnan vapaus mahdollistaa luotettavien ja aiemmin hyväksi todettujen antureiden käytön laajemman hyödyntämisen. Järjestelmien mittaustulosten seuraaminen on tehty helpoksi. Datapalvelimelle saa otettua yhteyden mistä tahansa, mistä pääsee Internetiin. Tiedon esitys- ja käsittelytyökaluista ei ole kokemusta eikä niiden sopivuudesta kunnonvalvonnan vaatimuksiin. Alhaisen 1 Hz:n näytteenottotaajuuden vuoksi laitteet soveltuvat staattisten suureiden mittauksiin, kuten lämpötila ja useimmat prosessisuureet. Laitteistot soveltuvat värähtelyn kokonaistason valvontaan, mutta näiden kautta ei voi siirtää aika- ja taajuustasontietoa.

Pamas S50:n ja S50P:n ominaisuudet vastaavat vaatimuksia. Öljyn kunnosta on saatavilla hiukkasmäärän ja kokojakauman lisäksi muita öljyn kuntoa kuvaavia suureita, kuten vesipitoisuus ja viskositeetti. Järjestelmän liitettävyyys käytössä olevaan tiedonhallintajärjestelmään takaa monipuoliset hälytystoiminnot, jolloin saadaan tieto mahdollisista kulumisvaurioiden alkamisesta. Pamas-järjestelmä on jo käytössä Fortumin muuntajaöljylaboratoriossa Myyrmäessä.

Hydacin CS 1000 ja MCS 1000 soveltuvat laaja-alaiseen käyttöön. CS 1000:n maksimipaineenkesto riittää kattamaan kaikki sovelluskohteet. Paineenkest ominaisuus tulee tarpeeseen, jos valvonnan piiriin halutaan hydraulikkajärjestelmiä. Suurien öljymäärien valvontaan tarkoitettun MCS 1000:n vaatima öljyn tilavuusvirta täytyy ottaa huomioon valittaessa hiukkaslaskintyyppiä. Kummas-takin järjestelmästä on mahdollisuus hälytystoiminnolle sähköpostitse ja SMS-viestinä.

Pamas-järjestelmään kuuluu hiukkaslaskennan lisäksi muitakin öljynkuntoa kuvaavia suureita. Hydacin järjestelmät, jotka on esitelty tässä työssä, mittaavat ainoastaan hiukkasmäärää. Hydacilla on olemassa erillisiä antureita muihin öljynlaadun mittauksiin. Niitä ei ole tässä työssä esitelty, koska työ rajattiin öljyjen hiukkasmittauksiin.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin älykkäiden antureiden tekniikan nykytaso ja älykkäillä antureilla toteutettujen etävalvontajärjestelmien soveltuvuus kunnonvalvonnan vaatimuksiin lämpötilan-, värähtely- ja öljyjen hiukkasmittauksiin. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja työn tuloksia voidaan pitää onnistuneina. Kattavan selvitystyön, jossa käytiin läpi merkittävimmät anturien valmistajat, tuloksena löydettiin työn rajauksen puitteissa muutamia soveltuvia tuotteita. Testikäytössä ollut laitteisto tuotti pettymyksen toimimattomuudellaan. Tuloksena sitäkin voidaan kuitenkin pitää, koska testi osoitti, ettei laitteisto sovellu ainakaan vielä vaativaan kunnonvalvontaan käyttöön. Jälkikäteen ajateltuna testikäytössä olisi pitänyt olla CMaS-järjestelmä.

Webrosensorin DCS-analysointiohjelmisto ei sovellu signaalin käsittelyyn vaan tarvitsee rinnalleen jonkin analysointiohjelman, kuten MATLABin tai LabView'n. DCS:n tuottama liitteen 2/2 mukainen PDF-raportti analysoinnista ei sellaiseenaan vastaa luvussa 6 listattuja vaatimuksia ohjelmistoille.

Oikeastaan anturissa ei ole vielä mitään älykästä toimintaa, koska anturi itse ei vielä nykyisellään analysoi mittaamaansa dataa. Tällä hetkellä anturin voisi luokitella etäluettavaksi värähtelyanturiksi.

Moventasin CMaS on tällä hetkellä ollut käytössä ainoastaan tuulivoimaympäristössä. Järjestelmän yhteydessä on myyty palvelukonseptia, joka kattaa mittausten analysoinnin ja raportoinnin suositeltavista toimenpiteistä. Järjestelmä on mahdollista hankkia myös ilman palvelutoimintaa, jolloin mittausten analysointi jää järjestelmän tilaajan vastuulle.

Suorituskyvyltään Moventasin IVS 20 -anturi soveltuu hyvin vaativiin kunnonvalvontasovelluksiin ja kohteisiin. Tällä hetkellä anturia ei myydä yksittäisinä kappaleina vaan anturit kuuluvat CMaS-järjestelmän kokonaistoimitukseen.

Tulevaisuudessa Moventas aikoo laajentaa tuoteportfoliotaan kattamaan esimerkiksi pelkkää öljyn analysointia tai värähtelymittauksia. Tuoteportfolion laajentumisen myötä pelkän anturin myyminen voisi olla mahdollista.

Pelkkiä lämpötila-antureita ei työn rajoitusten puitteissa löytynyt. Lämpötilamittauksen toteutus on nykyään niin halpaa, että se kannattaa liittää osaksi värähtelyantureita. Näin anturien valmistajat ovat myös tehneet, joten jokaisessa työssä esitellyssä anturissa lämpötilanmittaus on yhdistetty värähtelyanturin kanssa samaan kuoreen.

Keskeisimpänä huomiona työn tuloksista voidaan päätellä, että työssä oltiin hieman aikaa edellä. Älykkäitä antureita ei ole vielä markkinoilla volyymituotteina. Osassa markkinoilla olevissa älykkäissä antureissa on vielä pitkä tuotekehitysprosessi edessä, ennen kuin ne ovat käyttökelpoisia. Työn tulosten pohjalta on hyvä jatkaa etävalvontaan tähtäävien hankkeiden toteutusta. Esimerkiksi yksityiskohtaisempaa perehtymistä CMA-S-järjestelmään ja sen testikäyttöä voi tämän työn tulosten perusteella suositella.

LÄHTEET

Contamination Sensor CS 1000 & MCS Series. 2010. Esite. Hydac GmbH.

CSI 9420 Wireless Vibration Transmitter. 2010. Esite. Emerson Process Management.

Fortum lyhyesti. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:

<http://www.fortum.fi/document.asp?path=14020;14028;14029;14055;14244;14248;14255>. Hakupäivä 23.11.2010.

Fortum ja vesivoima. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:

<http://www.fortum.fi/fi/vesivoima/index.html>. Hakupäivä 22.11.2010

Fortum ja ydinvoima. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:

<http://www.fortum.fi/fi/document.asp?path=14020;14028;14029;14055;47524;47525;46654>. Hakupäivä 24.11.2010.

Hakonen, Martti 2011. Emerson Process Management Oy. WirelessHART – tilanne tänään ja tulevaisuus. Luentomateriaalin tiivistelmä. Automaatioseminaari 2011.

Hart Communication foundation. 2007. WirelessHART Technicall Data Sheet. Saatavissa:

http://www.hartcomm.org/protocol/training/resources/wiHART_resources/wirelesshart_datasheet.pdf. Hakupäivä 18.3.2011.

Hydrauliikka ja voitelujärjestelmien kunnonvalvonta. 2005. Hydac. Saatavissa:

http://www.hydac.fi/pdf/uutiset/Hydrauliikka_ja_voitelujarjestelmien_kunnonvalvonta_OP.pdf. Hakupäivä: 14.2.2011.

Ibexis Monitoring Service Point. 2009. Esite. Ibexis Ltd.

Järviö, Jorma 2004. Kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys ry. Rajamäki: KP-Media Oy.

Korpi, Arto – Manninen, Ari – Rinkinen, Jari – Suontama, Kauko 2003. Teollisuusvoitelu. Kunnossapitoyhdistys ry. Rajamäki: KP-Media Oy.

Lauhdevoima. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:
http://www.fortum.fi/dropdown_document.asp?path=14020;14028;14029;14055;47524;47525;41110. Hakupäivä 22.11.2010.

Loviisan ydinvoimalaitos. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:
<http://www.fortum.fi/fi/document.asp?path=14020;14028;14029;14055;47524;47525;46654;53244>. Hakupäivä 24.1.11

Lämpökamera. 2010. Opetushallitus. Saatavissa:
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html. Hakupäivä 17.3.2011.

Mikkonen, Henry – Miettinen, Juha – Leinonen, Pertti – Jantunen, Erkki - Kokko, Voitto – Riutta, Erkki – Sulo, Petri – Komonen, Kari – Lumme, Veli-Erkki – Kautto, Juha – Heinonen, Kari – Lakka, Sami – Mäkeläinen, Risto. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Mikkonen, Henry (toim.). Kunnossapitoyhdistys Promaint. Helsinki: KP-Media Oy.

Moventas Condition Management System. 2010. Esite. Moventas Wind Oy.

MyDatenet. 2008. Esite. Microtronics Engineering GmbH.

Niiranen, Esko 2009. Öljynäytteiden hiukkaslaskenta mekaanisessa kunnonvalvonnassa ja koneenrakennuksen puhtausvalvonnassa. Saatavissa:
http://www.ael.fi/files/Pamas_-_oljynaytteiden_hiukkaslaskenta_2009_01.pdf.
Hakupäivä 14.2.2011.

Nohynek, Petri – Lumme, Veli Erkki 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täydennetty painos. Kunnossapitoyhdistys ry. Rajamäki: KP-Media Oy.

PAMAS S50 / S50P -online-hiukkaslaskin. 2009. Esite. Pamas Partikelmess- und analysesysteme GmbH.

Penttinen, Jyrki 2001. GPRS -tekniikka. Verkon rakenne, toiminta ja mitoitus. Helsinki: WSOY.

PSK 5706. 2009. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Valvontamenetelmät. PSK Standardisointi.

Pyyskänen, Seppo 2007. Teollisuuden laiteverkot. Suomen automaatioseura ry. Helsinki: Picaset Oy.

Turunen, Antti 2010. Remote Condition Mangement. Wind Systems Magazine June 2010.

Tuulivoima. 2010. Suomen tuulivoimayhdistys ry. Saatavissa:
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima>. Hakupäivä 22.11.2010.

Tuulivoiman tuotantotilasto. 2009. VTT. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W145.pdf>. Hakupäivä 22.11.2010.

Uusiutuvaa ja täysin päästötöntä tuulivoimaa. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:
<http://www.fortum.fi/document.asp?path=14020;14028;14029;14055;47524;47525;41112>. Hakupäivä 23.11.2010.

Vesivoima. 2010. Energiamaailma. Saatavissa:
<http://energiamaailma.fi/c/vesivoima>. Hakupäivä 25.5.2011.

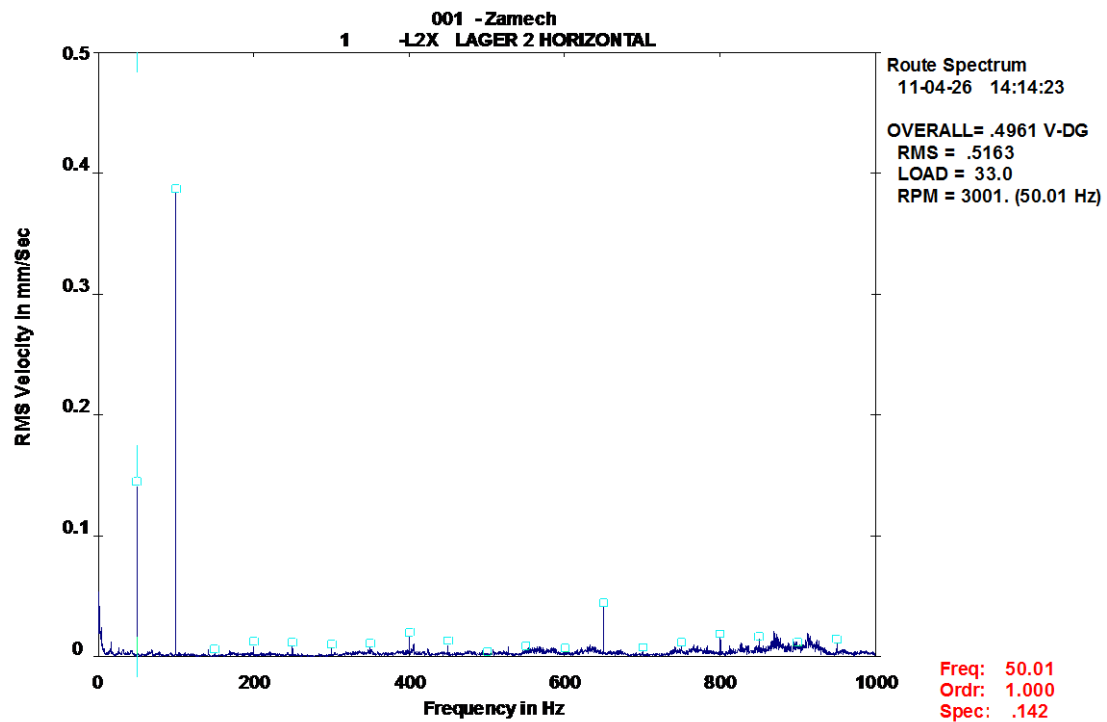
Voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalvelut. 2010. Fortum Oyj. Saatavissa:
<http://www.fortum.fi/document.asp?path=14020;14028;14030;35987;36014;36250;36251>. Hakupäivä 23.11.2010.

WBS CM301 Condition monitoring sensor. 2010. Esite. Webrosensor.

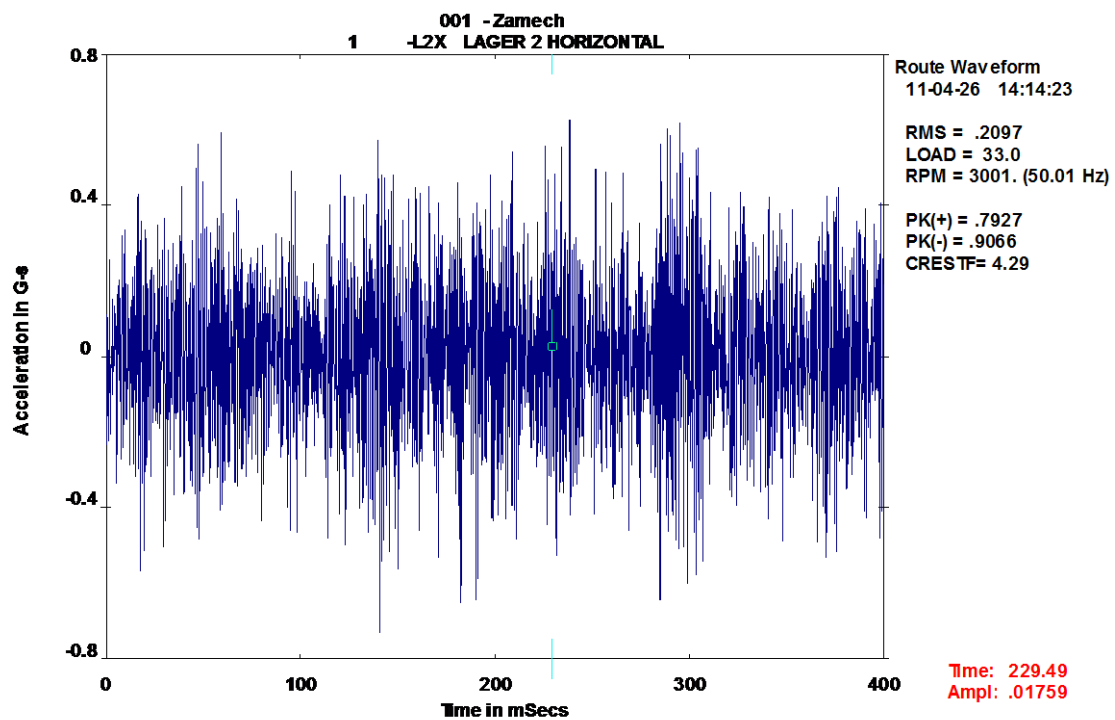
WBS DCS 1.0 Data collecting software user's guide. 2010. Esite. Webrosensor.

Wikipedia. 2011. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org>. Hakupäivä 15.3.2011.

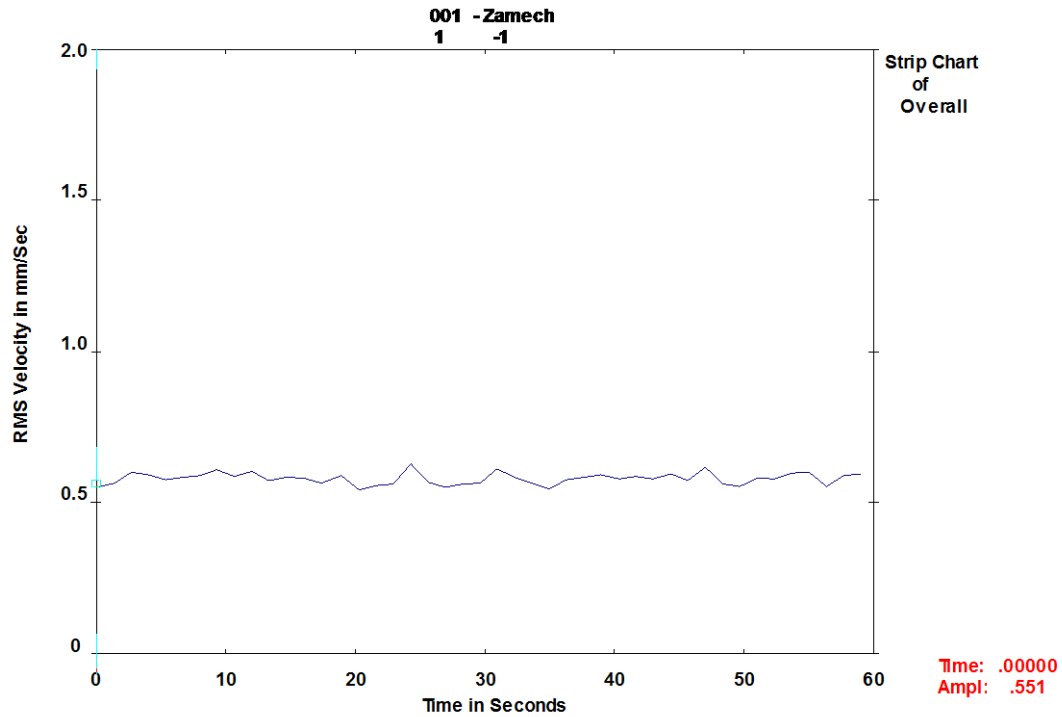
L2X



KUVA 1. Laakeri 2 vaakasuunta mm/s nopeusspektri

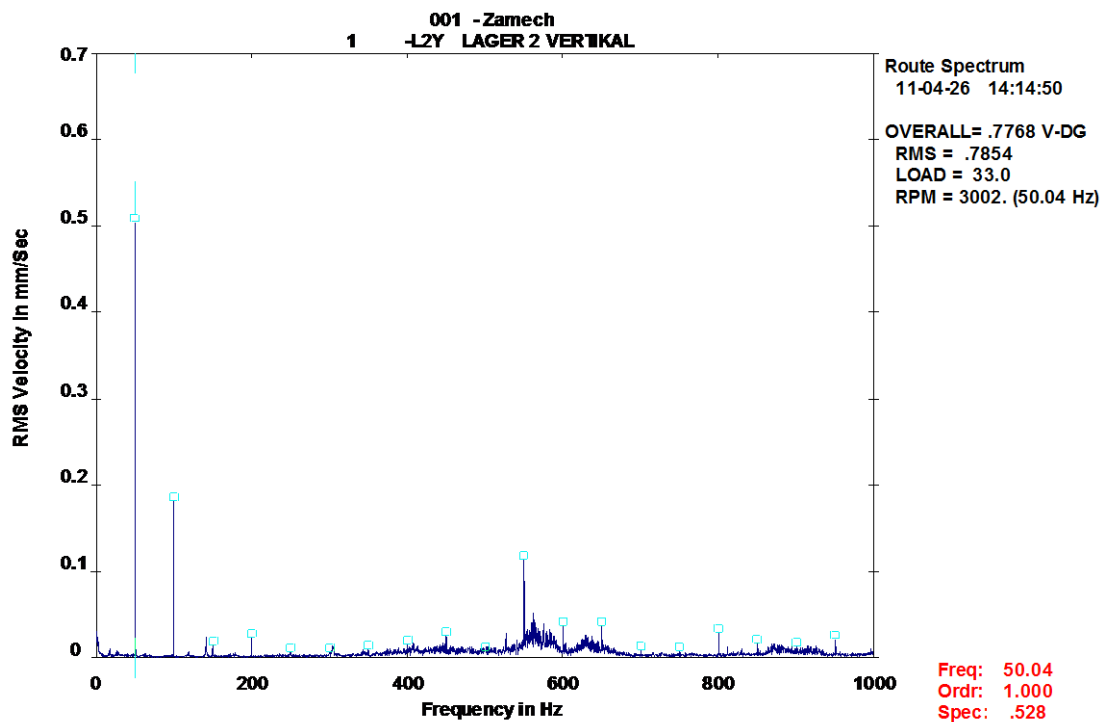


KUVA 2. Laakeri 2 vaakasuunta, kiihtyvyyssignaali aikatasossa

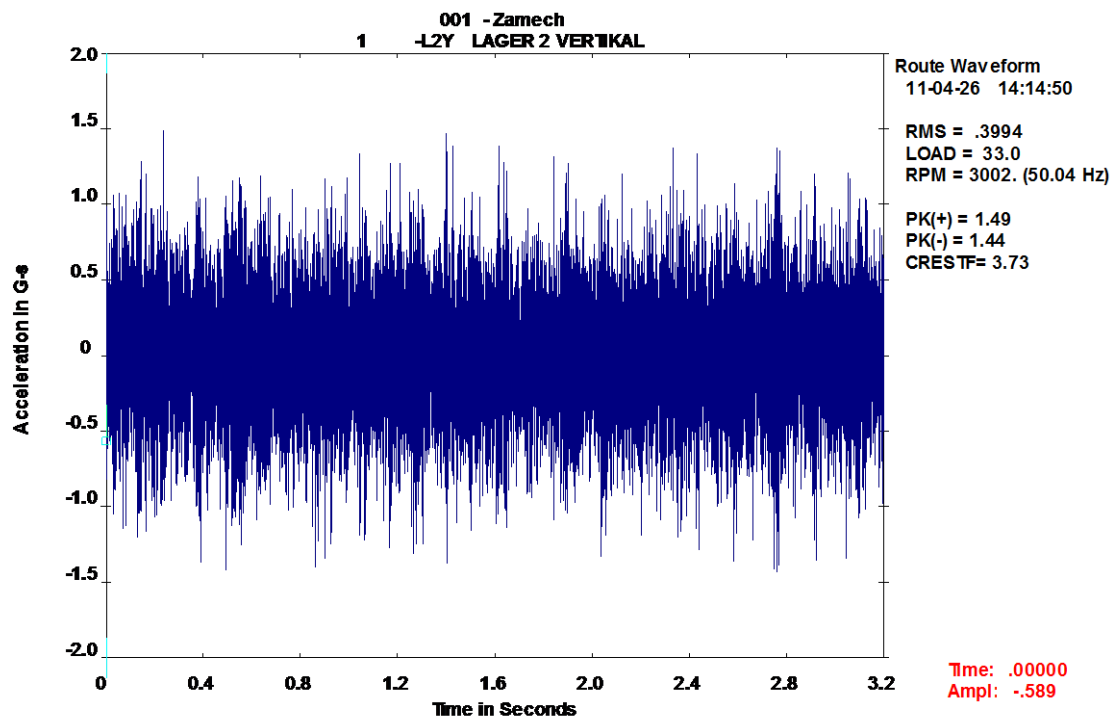


KUVA 3. Laakeri 2 vaakasuunta, kokonaistasotrendi mm/s
(10 - 1 000 Hz, RMS)

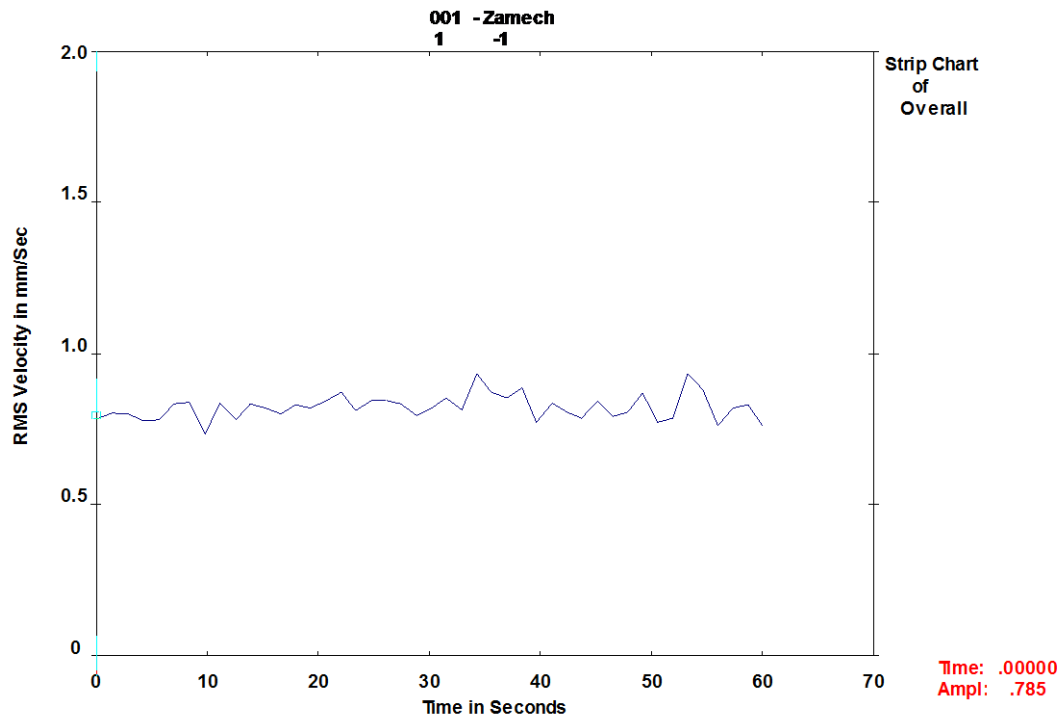
L2Y



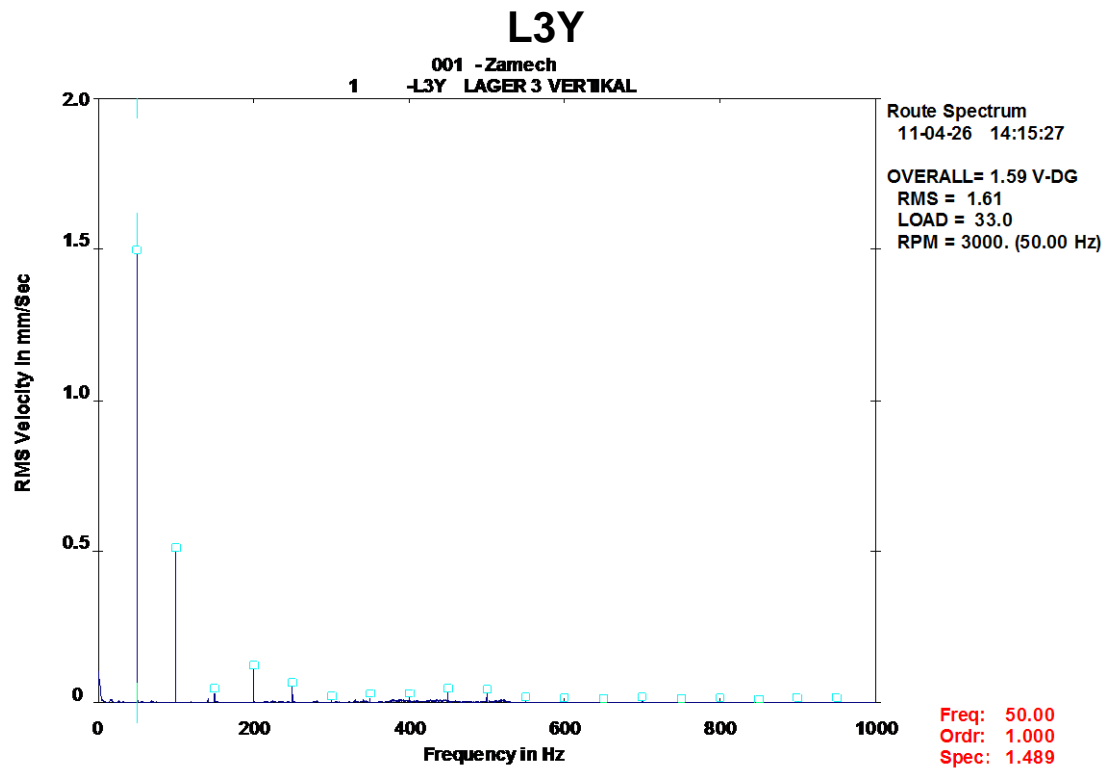
KUVA 4. Laakeri 2 pystysuunta, mm/s nopeusspektri



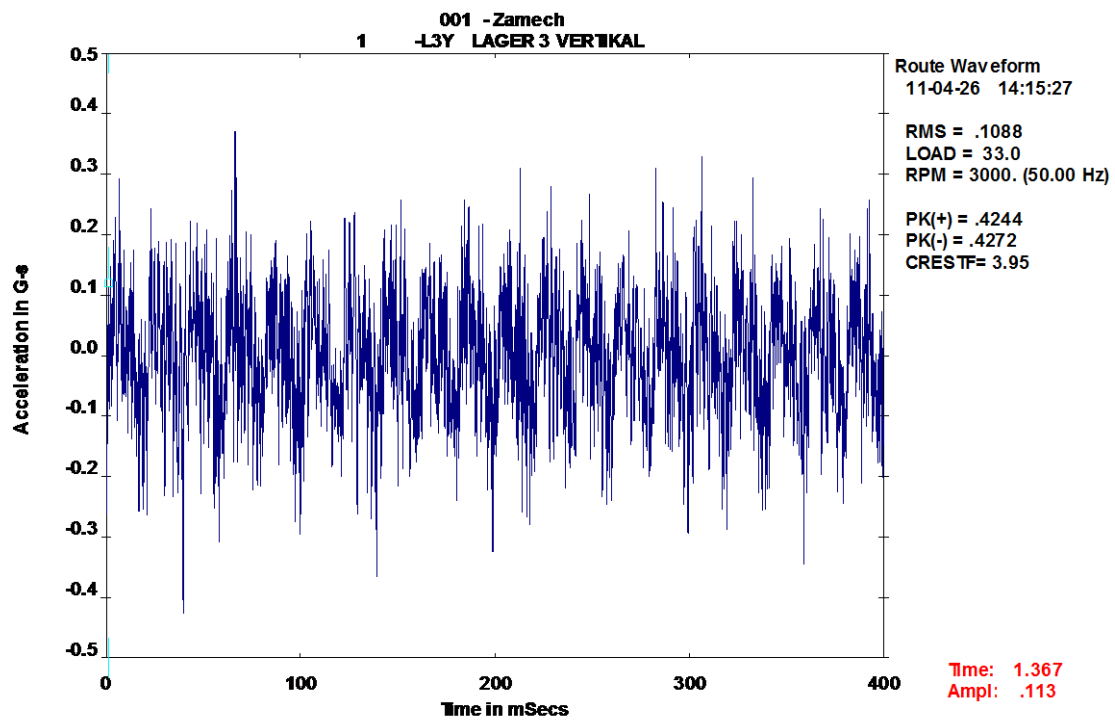
KUVA 5. Laakeri 2 pystysuunta, kiihtyvyyssignaali aikatasossa



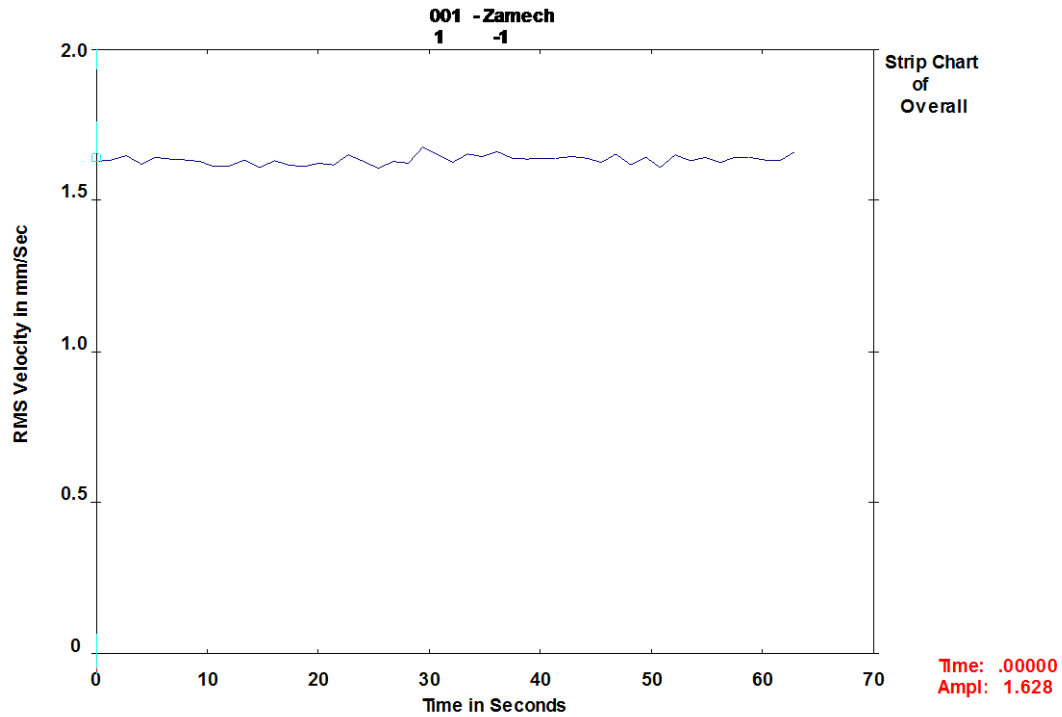
KUVA 6. Laakeri 2 pystysuunta, kokonaistasotrendi mm/s (10 - 1 000 Hz, RMS)



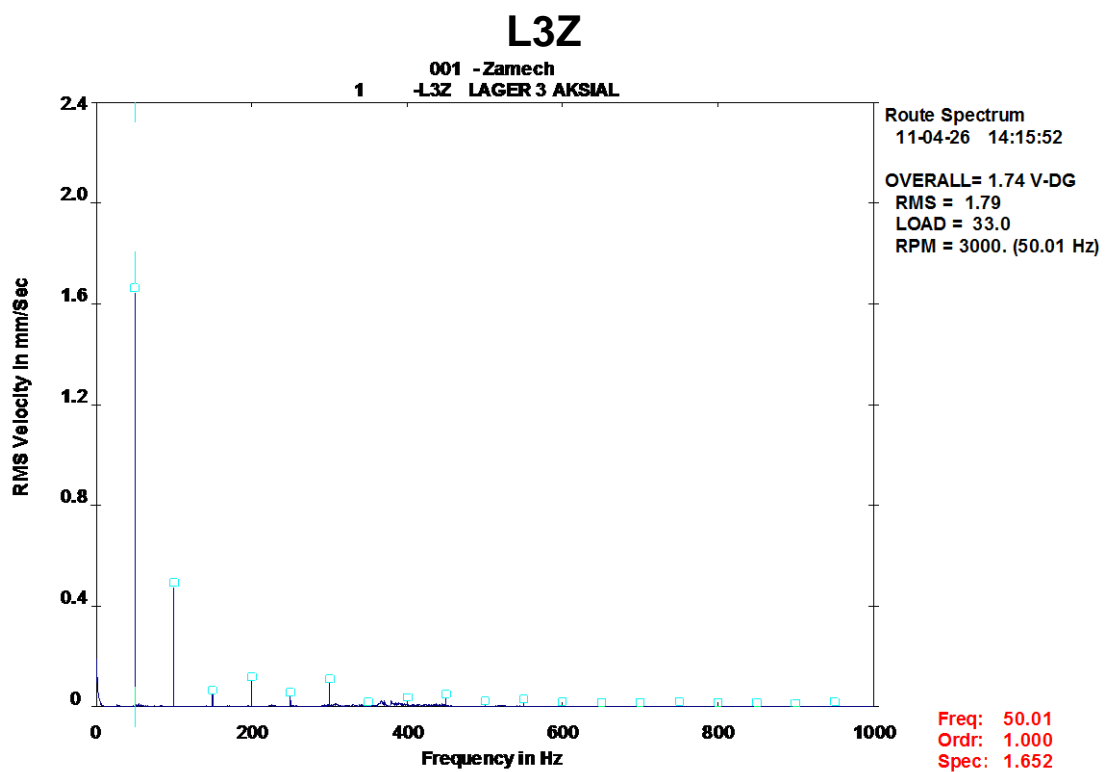
KUVA 7. Laakeri 3 pystysuunta, mm/s nopeusspektri



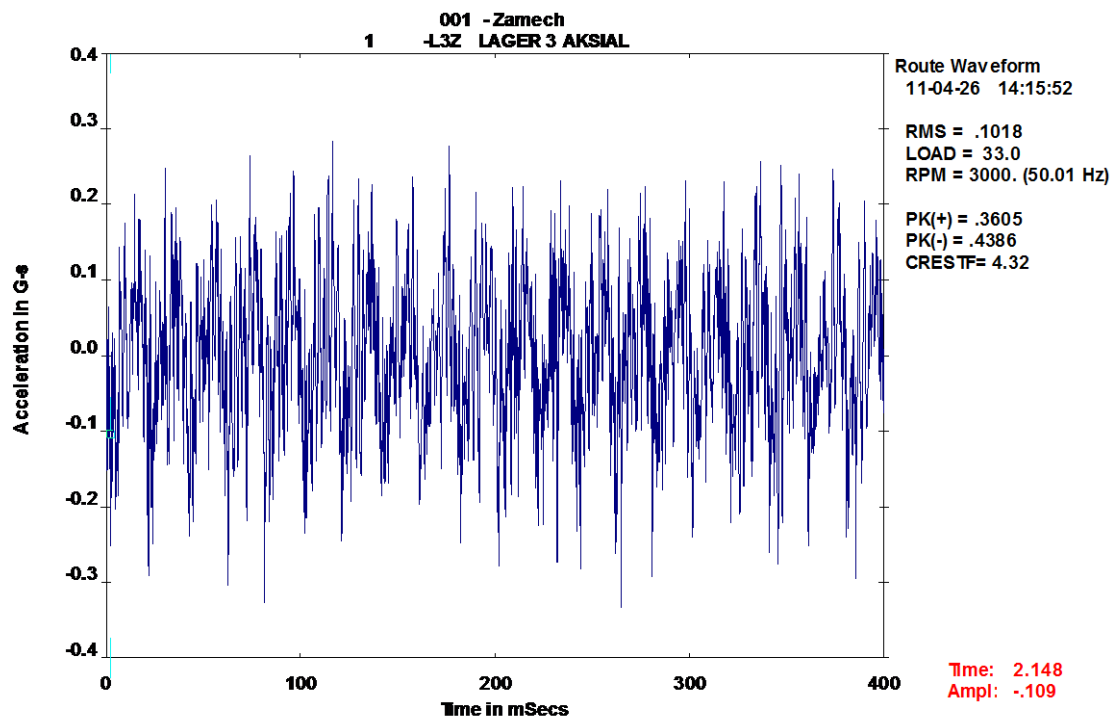
KUVA 8. Laakeri 3 pystysuunta, kiihtyvyyssignaali aikatasossa



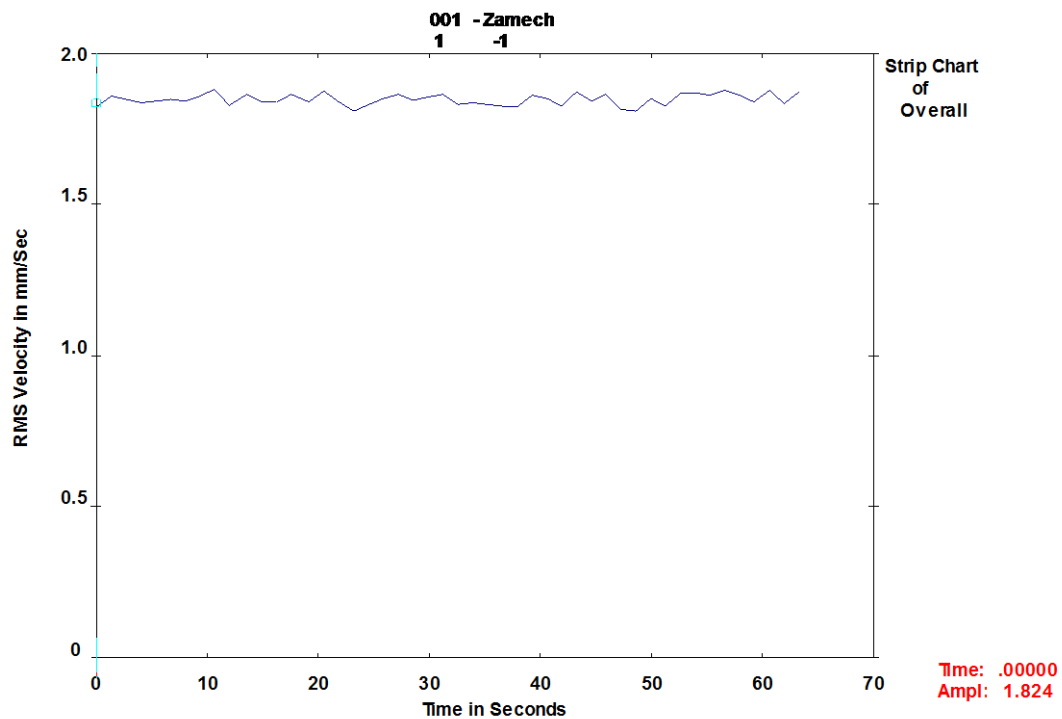
KUVA 9. Laakeri 3 pystysuunta, kokonaistasotrendi mm/s (10 - 1 000 Hz, RMS)



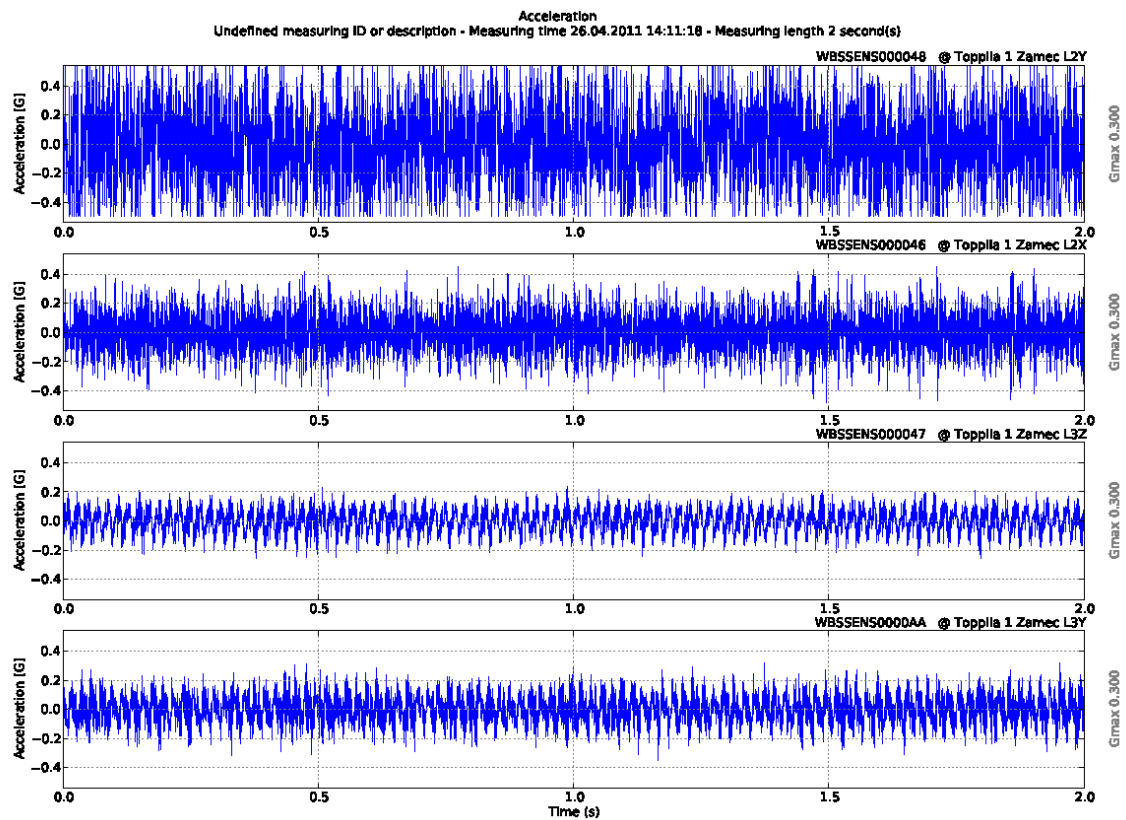
KUVA 10. Laakeri 3 aksiaalisuunta, mm/s nopeusspektri



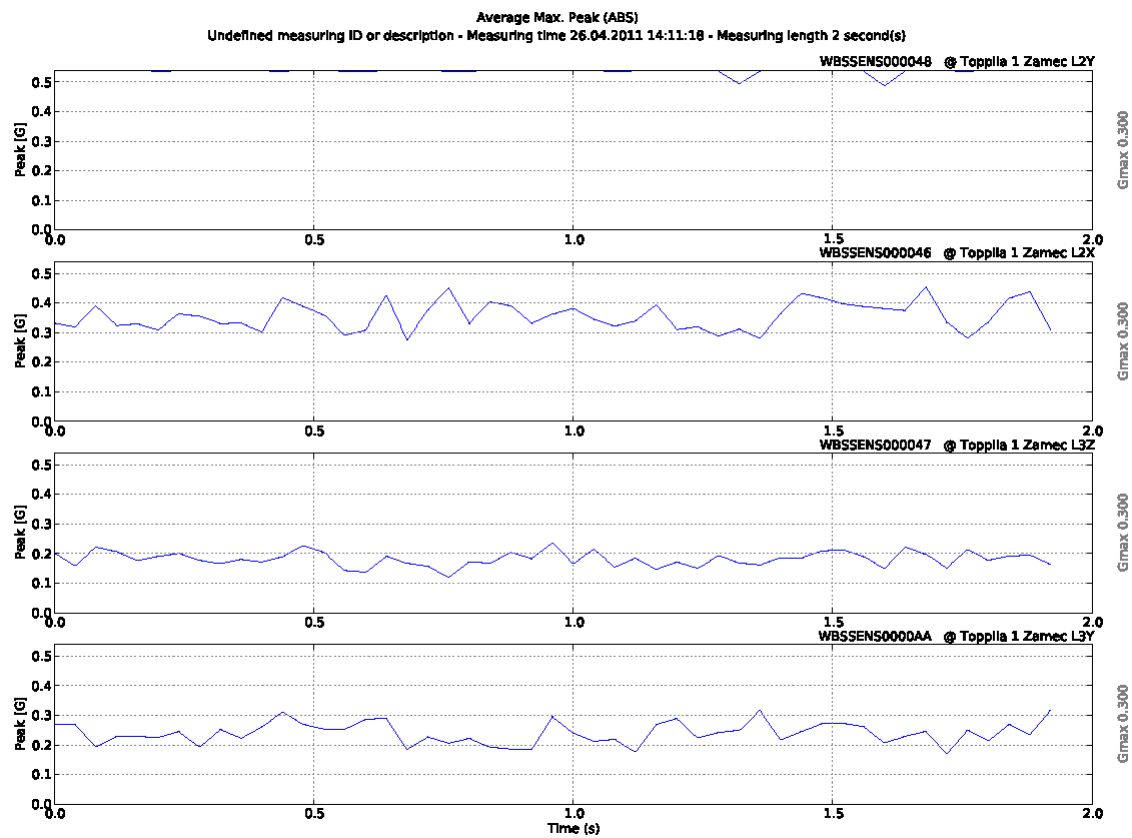
KUVA 11. Laakeri 3 aksiaalisuunta, kiihtyvyyssignaali aikatasossa



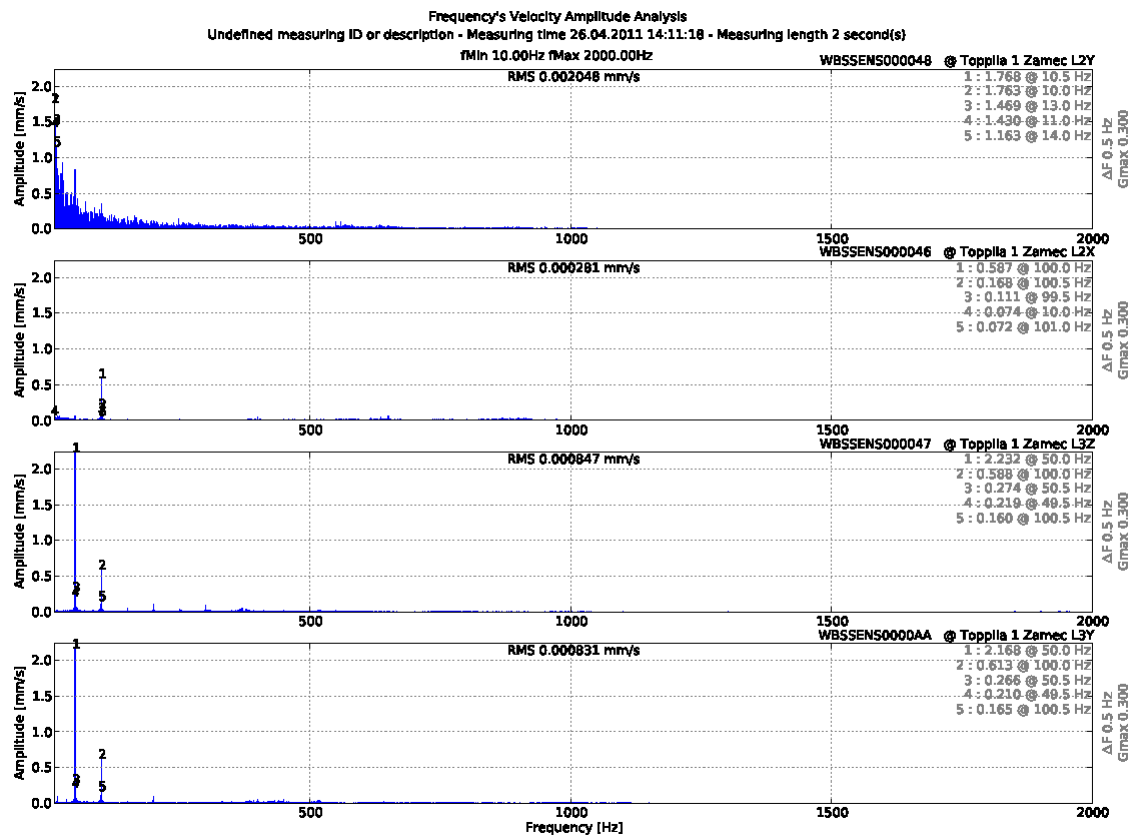
KUVA 12. Laakeri 3 aksiaalisuunta, kokonaistasotrendi mm/s
(10 – 1 000 Hz, RMS)



KUVA 13. Aikatasosignaalit



KUVA 14. Huippuarvot

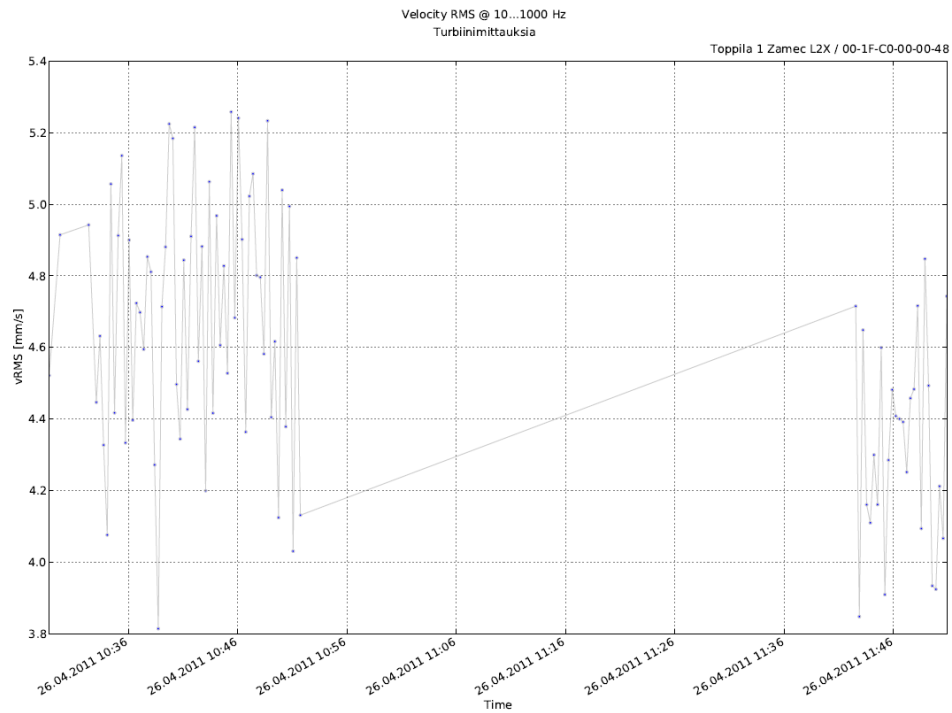


KUVA 15. Spektrit

KOELAITTEISTON MITTAUSTULOKSET

LIITE 2/3

Plotted 29.04.2011 13:32

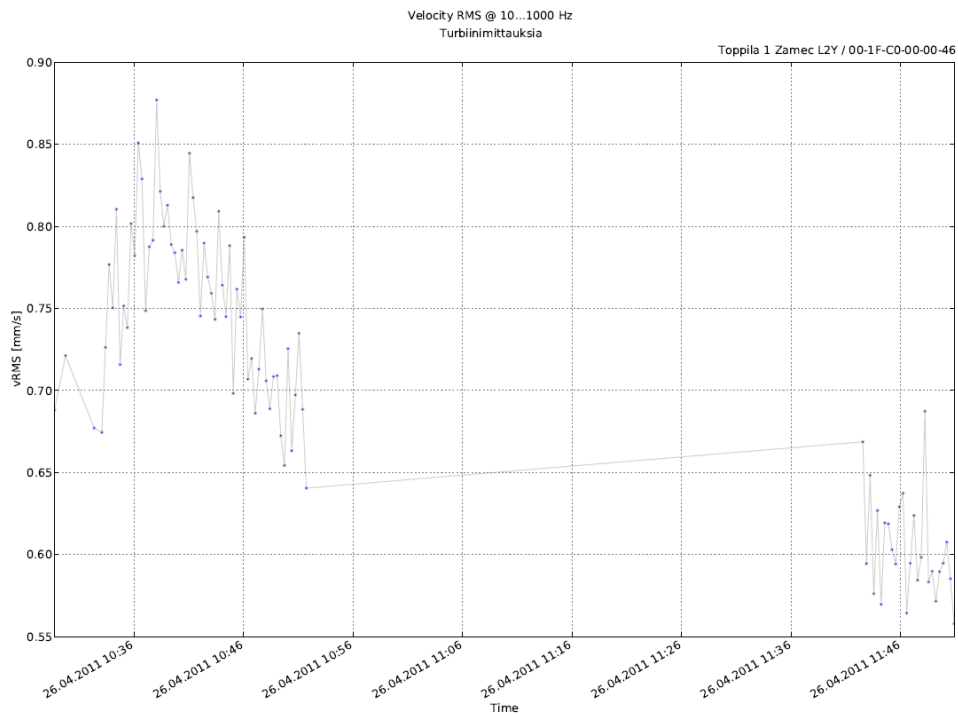


Webrosensor 2011 - www.wbs.fi

WBS DCS1.0r1440

KUVA 16. Laakeri 2 vaakasuunta nopeus RMS-kokonaistaso (mm/s)
10 - 1 000 Hz

Plotted 29.04.2011 13:32



Webrosensor 2011 - www.wbs.fi

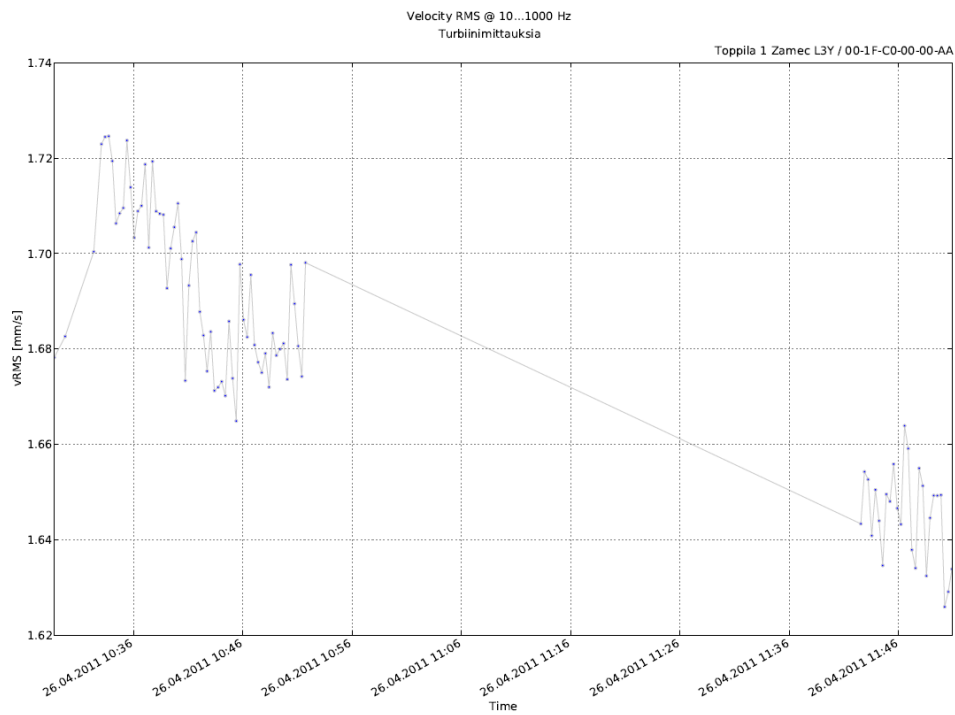
WBS DCS1.0r1440

KUVA 17. Laakeri 2 pystysuunta nopeus RMS-kokonaistaso (mm/s)
10 - 1 000 Hz

KOELAITTEISTON MITTAUSTULOKSET

LIITE 2/4

Plotted 29.04.2011 13:33

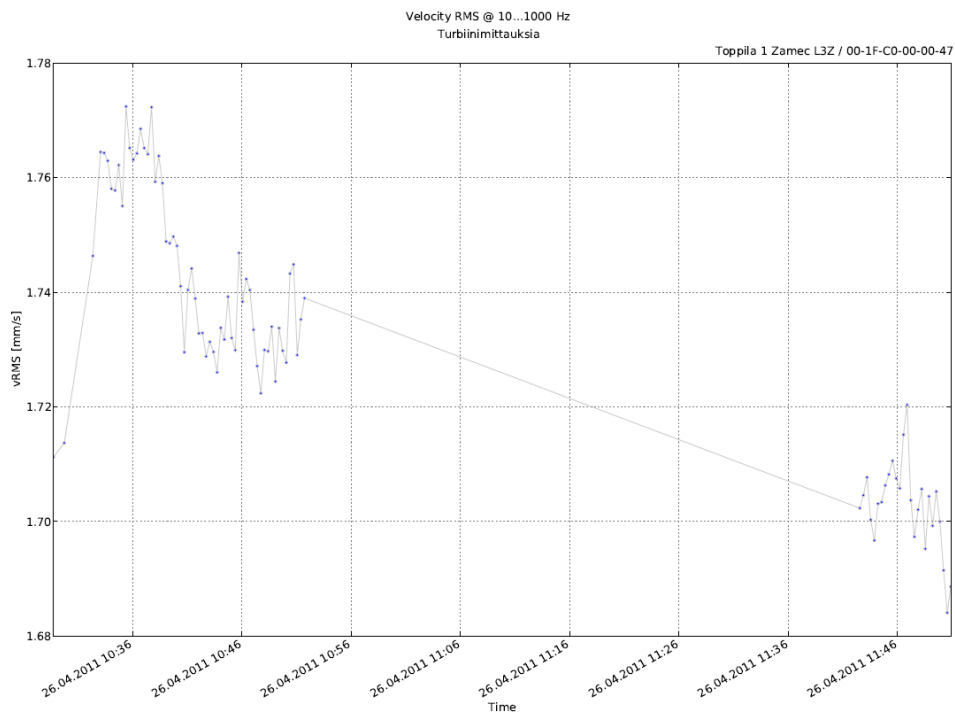


Webrosensor 2011 - www.wbs.fi

WBS DCS1.0r1440

**KUVA 18. Laakeri 3 pystysuunta nopeus RMS-kokonaistaso (mm/s)
10 - 1 000 Hz**

Plotted 29.04.2011 13:32



Webrosensor 2011 - www.wbs.fi

WBS DCS1.0r1440

**KUVA 19. Laakeri 3 aksiaaliskuunta nopeus RMS-kokonaistaso (mm/s)
10 - 1 000 Hz**